

Microdriver magnetic drive, e.g. for microswitch having fixed/ moving sections and moving magnet attachment zones raising moving magnet attachment zones raising moving magnet when attraction zone active

Patent number: FR2828000

Publication date: 2003-01-31

Inventor: DELAMARE JEROME; LOCATELLI CHRISTEL; CUGAT ORPHEE

Applicant: COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE (FR)

Classification:

- international: (IPC1-7): H01F7/06

- european: H01F7/08; H01H50/00C

Application number: FR20010010081 20010727

Priority number(s): FR20010010081 20010727

Also published as:



WO03012805 (A3)

WO03012805 (A2)

EP1428232 (A3)

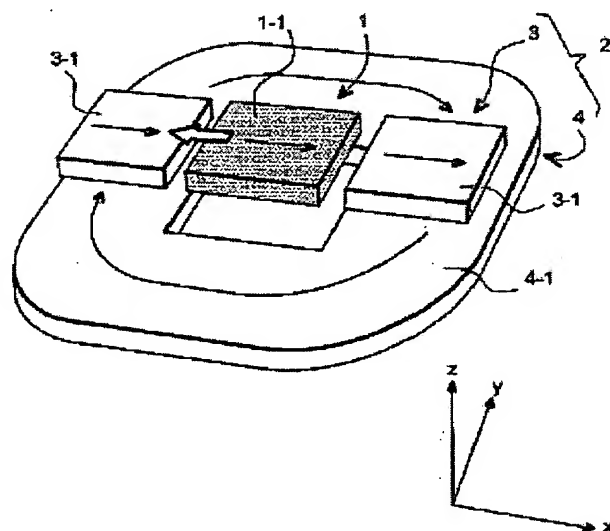
EP1428232 (A2)

US2004183382 (A)

[Report a data error here](#)

Abstract of FR2828000

The magnetic drive has a fixed magnetic part (3) and a moving magnetic part (1). The moving magnet part has a magnet (1-1). The fixed magnetic part has two attraction zones on which the moving magnet can become attached. The moving magnet part is raised up whilst stuck to the attraction zones.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①⑪ N° de publication :

2 828 000

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②⑪ N° d'enregistrement national :

01 10081

⑤① Int Cl⁷ : H 01 F 7/06

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 27.07.01.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 31.01.03 Bulletin 03/05.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE Etablissement de caractère scientifique techni-
que et industriel — FR, CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS — FR et INSTI-
TUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE —
FR.

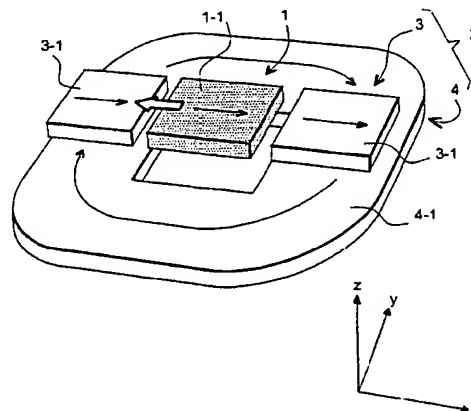
⑦② Inventeur(s) : DELAMARE JEROME, LOCATELLI
CHRISTEL et CUGAT ORPHEE.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : BREVATOME.

⑤④ ACTIONNEUR MAGNETIQUE A AIMANT MOBILE.

⑤⑦ Cet actionneur magnétique comporte une partie ma-
gnétique fixe (3) qui coopère magnétiquement avec une
partie magnétique mobile (1) et des moyens (4) pour dé-
clencher le déplacement de la partie magnétique mobile (1).
La partie magnétique mobile (1) comporte au moins un
aimant (1-1) et la partie magnétique fixe (3) présente au
moins deux zones d'attraction (3-2) sur lesquelles la partie
magnétique mobile est susceptible de venir se coller. La
partie magnétique mobile (1) est en lévitation lorsqu'elle
n'est pas collée sur l'une des zones d'attraction (3-2).



FR 2 828 000 - A1



ACTIONNEUR MAGNETIQUE A AIMANT MOBILE**DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE**

5 La présente invention a pour objet un actionneur magnétique à aimant mobile et notamment un microactionneur réalisable par les techniques de la microtechnologie.

 Cet actionneur lorsqu'il possède plusieurs
10 positions stables trouve son application dans la réalisation de microrelais ou microcommutateurs électriques commandant l'ouverture ou la fermeture d'un contact électrique éventuellement pris parmi plusieurs, de microrelais ou microcommutateurs commandant le
15 passage, l'obturation, la commutation ou l'aiguillage d'un rayon lumineux, de microvannes commandant le passage, l'obturation ou l'aiguillage d'un fluide, de micropompes commandant le pompage d'un fluide.

 Cet actionneur peut être piloté de manière
20 à pouvoir prendre une multitude de positions successives avec une précision nanométrique suivant 5 degrés de liberté.

 Il peut alors servir pour le positionnement de tête de lecture magnétique ou optique, dans les
25 scanners optiques, pour effectuer de l'enregistrement AFM (sigle correspondant à la dénomination anglo-saxonne Atomic Force Microscope pour microscope à forces atomiques) ou thermique, dans des tables de positionnement.

30

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Les actionneurs magnétiques connus comportent une partie magnétique fixe, une partie magnétique mobile qui est mécaniquement reliée à la partie magnétique fixe. Un circuit électrique permet d'exciter la partie magnétique mobile pour lui faire prendre une position de travail en la faisant se déplacer par rapport à la partie magnétique fixe. En l'absence d'excitation la partie magnétique mobile est dans une position de repos.

On connaît dans l'article « Latching micro magnetic relays with multistrip permalloy cantilevers » de M. RUAN et J. SHEN publié dans IEEE MENS 2001 page 224 à 227 un microactionneur magnétique à aimant réalisé sur un substrat de silicium. L'aimant est fixe, il est encastré dans le silicium, il est recouvert par un bobinage de commande et la partie magnétique mobile à déplacer est en forme de poutre avec une extrémité libre et une extrémité encastrée et donc solidaire mécaniquement de la partie magnétique fixe.

Un autre type de microactionneur magnétique à aimant a été décrit sur le site internet du Laboratoire de Recherche de la Société IBM à Zurich (www.zurich.ibm.com) sous le titre « Electromagnetic scanner ». Cet article était disponible en avril 2001. Le microactionneur fonctionne sur le principe du haut parleur. Des bobines planes placées sur un substrat commandent le déplacement d'aimants solidaires d'une platine, cette dernière étant suspendue mécaniquement par des poutres à un cadre fixe solidaire du substrat.

Dans tous ces actionneurs la partie magnétique mobile est reliée mécaniquement à la partie magnétique fixe. Cette liaison mécanique est délicate à réaliser par des techniques collectives de fabrication.

5 De plus, cette connexion limite la mobilité de la partie magnétique mobile, cette mobilité résulte d'une déformation d'un des éléments reliant la pièce mobile à la partie fixe. Les performances en vitesse de tels actionneurs sont faibles.

10 Les forces d'entraînement de la partie magnétique mobile sont dues au champ magnétique créé par au moins une bobine. Or à densité de courant constante, une microbobine crée une force bien plus faible qu'une bobine de même forme mais de plus grandes
15 dimensions. Les performances de tels microactionneurs restent donc médiocres. Les forces massiques qu'ils sont capables de fournir sont faibles relativement à leur taille.

De plus, de tels actionneurs doivent être
20 alimentés électriquement pour qu'ils restent dans une position de travail, en l'absence d'alimentation ils reviennent à une position de repos.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a justement pour but
25 de proposer un actionneur magnétique qui ne présente pas tous ces inconvénients. L'actionneur de la présente invention est particulièrement adapté à une réalisation en microtechnologies. Il possède une vitesse de déplacement élevée, une capacité à exercer des forces
30 massiques importantes et des déplacements importants par rapport à sa taille. En position stable, position

qui peut correspondre à une position de travail, la consommation électrique de cet actionneur est nulle.

Pour y parvenir l'actionneur de l'invention comporte une partie magnétique fixe et une partie magnétique mobile formée par un aimant qui lorsqu'il n'est pas collé à la partie magnétique fixe est en lévitation sans contact. Lorsqu'il se déplace et qu'il est attiré par la partie magnétique fixe, il est totalement guidé magnétiquement.

Plus précisément l'actionneur magnétique selon l'invention comporte une partie magnétique fixe qui coopère magnétiquement avec une partie magnétique mobile et des moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile. La partie magnétique mobile comporte au moins un aimant et la partie magnétique fixe présente au moins deux zones d'attraction sur lesquelles la partie magnétique mobile est susceptible de venir se coller, la partie magnétique mobile étant en lévitation lorsqu'elle n'est pas collée sur l'une des zones d'attraction.

La partie magnétique fixe peut être réalisée en un matériau choisi dans le groupe des matériaux magnétiques doux, des matériaux magnétiques durs, des matériaux à hystérésis, des matériaux supraconducteurs, des matériaux diamagnétiques, ces matériaux étant pris seuls ou en combinaison.

Les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile peuvent être des moyens de chauffage de la partie magnétique fixe.

Le matériau de la partie magnétique fixe peut avoir un point de Curie inférieur à celui de

l'aimant de la partie magnétique mobile, ainsi le chauffage ne perturbe pas les propriétés de l'aimant. Si ce n'est pas le cas, il faut tenir compte du couplage thermique, on peut isoler thermiquement
5 l'aimant de la partie magnétique mobile de la partie magnétique fixe.

Dans un autre mode de réalisation, les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile créent un champ magnétique au
10 voisinage de la partie magnétique mobile.

Dans ce cas, les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile peuvent être réalisés par au moins un conducteur électrique.

L'actionneur peut comporter des moyens pour
15 asservir le courant à faire circuler dans le conducteur à la position de la partie magnétique mobile de manière à ce qu'elle puisse prendre une pluralité de positions stables en lévitation. Il peut alors fonctionner en positionneur. Les moyens pour déclencher le déplacement
20 de la partie magnétique mobile servent ainsi pour maintenir la partie magnétique mobile stable en lévitation.

Le conducteur peut entourer la partie magnétique fixe.

25 De préférence, notamment dans le cas d'actionneur réalisé en microtechnologies, le conducteur peut prendre la forme d'un bobinage sensiblement plan.

Les parties magnétiques fixe et mobile
30 peuvent elles aussi être sensiblement planes, elles peuvent être disposées sensiblement dans le même plan.

Le conducteur et les parties magnétiques fixe et mobile peuvent alors être disposés dans des plans sensiblement parallèles.

5 La partie magnétique fixe peut être mono élément qui entoure la partie magnétique mobile, cette dernière pouvant alors prendre plusieurs positions stables à l'intérieur de la partie magnétique fixe. Elle peut ainsi disposer d'au moins quatre degrés de liberté.

10 Dans un autre mode de réalisation, la partie magnétique fixe peut être formée de plusieurs éléments, la partie magnétique mobile venant se coller sur un des éléments de la partie magnétique fixe ou sur un autre.

15 Si la partie magnétique fixe comporte plusieurs éléments plans orientés dans des plans différents, la partie magnétique mobile peut alors prendre l'orientation de l'élément sur lequel elle est collée.

20 L'aimantation de partie magnétique fixe et celle de la partie magnétique mobile peuvent être dirigées dans une même direction ou au contraire être dirigées dans des directions opposées.

25 Les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile peuvent déclencher un déplacement en rotation.

La partie magnétique fixe peut comporter, au niveau d'au moins une zone d'attraction une paire de contacts électriques et la partie magnétique mobile au
30 moins un contact électrique, la partie magnétique

mobile venant relier les deux contacts de la paire lorsqu'elle vient se coller sur la zone d'attraction.

La partie magnétique mobile peut comporter une zone réfléchissante destinée à réfléchir un rayon lumineux, l'actionneur peut alors être utilisé en tant
5 que relais ou commutateur optique, en tant que scanneur par exemple selon le déplacement que peut faire la partie magnétique mobile.

Un tel actionneur est réalisable sur un
10 substrat amagnétique, les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile étant encastrés dans le substrat.

Une matrice d'actionneurs peut être réalisée avec une pluralité d'actionneurs magnétiques
15 ainsi définis, ces actionneurs magnétiques étant regroupés sur un même support.

La présente invention concerne aussi un dispositif qui utilise au moins un actionneur magnétique ainsi défini. Il peut s'agir par exemple
20 d'un relais, d'un commutateur, d'une pompe, d'une vanne, d'un positionneur, d'un scanneur optique.

La présente invention concerne également un procédé de réalisation d'un actionneur magnétique. Il comporte les étapes suivantes :

25 - sur un premier substrat réalisation de caissons aptes à recevoir une partie magnétique fixe et une partie magnétique mobile avec un aimant,

- dépôt dans les caissons de la partie magnétique fixe et de la partie magnétique mobile avec
30 l'aimant,

- dépôt d'une couche diélectrique et gravure de cette dernière pour mettre à nu la partie magnétique mobile et son entourage jusqu'à la partie magnétique fixe,

5 - sur un second substrat réalisation d'au moins un caisson apte à recevoir un conducteur destiné à déclencher un déplacement de la partie magnétique mobile,

- dépôt du conducteur dans le caisson,

10 - assemblage des deux substrats en les mettant face à face,

- élimination totale ou partielle du premier substrat de manière à libérer la partie magnétique mobile.

15 Il comporte aussi une étape d'aimantation de l'aimant de la partie magnétique mobile et éventuellement de la partie magnétique fixe avant la libération de la partie magnétique mobile.

L'étape de gravure de la couche
20 diélectrique du premier substrat vise également à réaliser au moins une ouverture d'accès à au moins contact électrique d'alimentation du conducteur.

Une étape de réalisation d'au moins un contact électrique pour l'alimentation du conducteur
25 peut intervenir sur le second substrat, après le dépôt du conducteur et avant l'assemblage des deux substrats.

Une étape de dépôt d'un matériau diélectrique en surface du second substrat peut intervenir avant l'assemblage des deux substrats pour
30 protéger le conducteur.

Les deux substrats peuvent être des substrats semi-conducteurs massifs ou des substrats de type SOI.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

- 5 La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :
- 10 - les figures 1A à 1D montrent un exemple de commutateur selon l'invention dans différentes positions que sa partie magnétique mobile peut prendre ;
- les figures 2A, 2B, 2C et 2D montrent
- 15 des exemples d'actionneurs selon l'invention fonctionnant en tant que commutateurs électriques ;
- les figures 3A à 3C montrent différentes configurations des moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile d'un
- 20 actionneur conforme à l'invention ;
- la figure 4 montre un exemple d'actionneur selon l'invention réalisé sur un substrat amagnétique ;
- la figure 5 montre un exemple
- 25 d'actionneur selon l'invention réalisé sur un substrat amagnétique ;
- la figure 6 montre un exemple d'actionneur selon l'invention pouvant être contrôlé par cinq degrés de liberté ;

- la figure 7 montre un exemple d'actionneur selon l'invention dont la partie magnétique fixe est formée de quatre éléments ;
- la figure 8 montre un exemple
5 d'actionneur selon l'invention dont la partie magnétique fixe comporte un seul élément qui entoure la partie magnétique mobile ;
- les figures 9A et 9B montrent des actionneurs selon l'invention, regroupés sur un même
10 support et arrangés en matrice ;
- les figures 10A à 10I montrent différentes étapes de réalisation des parties magnétiques fixe et mobile d'un actionneur selon l'invention, sur un substrat semi-conducteur massif ;
- les figures 11A à 11I montrent
15 différentes étapes de réalisation des parties magnétiques fixe et mobile d'un actionneur selon l'invention, sur un substrat semi-conducteur de type SOI ;
- les figures 12A à 12G montrent
20 différentes étapes de réalisation des moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile d'un actionneur selon l'invention, sur un substrat semi-conducteur ;
- les figures 13A et 13B montrent les
25 étapes d'assemblage et de finition des substrats obtenus aux figures 10I et 12G ;
- les figures 14A et 14B montrent les
30 étapes d'assemblage et de finition des substrats obtenus aux figures 11I et 12G ;

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

On se réfère aux figures 1A à 1D qui illustrent schématiquement un actionneur selon l'invention et différentes positions que sa partie magnétique mobile peut prendre.

Il comporte une partie magnétique mobile 1 avec au moins un aimant 1-1 permanent. Il comporte également une partie fixe 2 formée d'une partie magnétique fixe 3 ainsi que des moyens 4 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 1. La référence 2 de la partie fixe n'est indiquée que sur la figure 1B qui montre les moyens 4 pour déclencher thermiquement le déplacement de la partie magnétique mobile, ils sont fixes. La partie magnétique fixe 3 peut comporter un ou plusieurs éléments à base d'aimants permanents 3-1 et/ou de matériau magnétique. Sur les figures 1, on suppose que la partie magnétique fixe 3 comporte deux éléments 3-1 qui sont des aimants permanents. L'ensemble partie magnétique mobile et partie fixe est supporté par un support amagnétique (non représenté sur les figures 1). Lors de la réalisation d'un tel actionneur en microtechnologies, il peut être réalisé sur ou dans un substrat comme on le verra ultérieurement. La partie magnétique fixe 3 et la partie magnétique mobile 1 coopèrent entre elles magnétiquement.

La partie magnétique fixe 3 est configurée de manière à présenter au moins deux zones d'attraction 3-2 qui attirent séparément et naturellement la partie magnétique mobile 1.

Sur l'exemple des figures 1, la partie magnétique mobile 1 se limite à un seul aimant permanent 1-1 en forme de plaque parallélépipédique. Il se trouve entre les deux aimants permanents 3-1 de la
5 partie magnétique fixe 3 qui eux aussi sont en forme de plaque parallélépipédique. Les zones d'attraction 3-2 sont des faces latérales des aimants fixes 3-1.

L'aimant mobile 1-1 peut venir se coller soit sur l'une des faces 3-2 de l'aimant fixe de droite
10 soit sur l'une des faces 3-2 de l'aimant fixe de gauche, ces deux faces étant en vis à vis. Les trois aimants 1-1 et 3-1 sont alignés et s'étendent sensiblement dans le plan x, y.

La partie magnétique mobile 1 est dépourvue
15 de liaison mécanique permanente avec la partie fixe 2. Lorsque la partie magnétique mobile 1 n'est pas collée à l'une des zones d'attraction 3-2, elle est libre, en lévitation sans contact, grâce aux interactions qu'elle possède avec la partie magnétique fixe 3.

20 Les moyens 4 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 1 ont pour fonction de modifier les forces qui interagissent sur la partie magnétique mobile 1 et donc de modifier l'équilibre de l'ensemble partie magnétique mobile 1-partie magnétique
25 fixe 3. Ils initient le déplacement de la partie magnétique mobile 1 mais ensuite le déplacement est dû aux interactions entre la partie magnétique fixe 3 et la partie magnétique mobile 1.

Les moyens 4 pour déclencher le déplacement
30 peuvent agir suivant plusieurs principes physiques différents. Ils peuvent, par une augmentation localisée

de la température, modifier les caractéristiques magnétiques de la partie magnétique fixe 3 au niveau de la zone d'attraction 3-2 sur laquelle est collée la partie magnétique mobile 1. Selon une variante, ils
5 peuvent créer un champ magnétique au niveau de la partie magnétique mobile, ce champ magnétique modifie les caractéristiques magnétiques de l'ensemble et met en mouvement la partie magnétique mobile.

C'est le premier principe qui est illustré
10 sur les figures 1. Dans cette configuration, chacun des aimants 3-1 de la partie magnétique fixe 3 est pourvu d'une résistance de chauffage R. Cette résistance R peut être déposée sur l'une des faces des aimants 3-1 de la partie magnétique fixe. Elle peut être réalisée
15 en cuivre, en argent, en or, en aluminium par exemple. Une fois que le mouvement est initié, le chauffage peut être arrêté et il n'y a plus besoin d'énergie. Lorsque la partie magnétique mobile est collée sur la partie magnétique fixe, la consommation en énergie est nulle
20 également.

Au lieu de réaliser le chauffage par une résistance, il est possible d'employer un faisceau lumineux, par exemple un faisceau laser qui viendrait irradier la partie magnétique fixe au niveau de la zone
25 dont on veut modifier les propriétés magnétiques.

La partie magnétique fixe 3 peut alors être réalisée dans un matériau dont le point de Curie est bas, par exemple inférieur ou égal à 100°C. Ses propriétés magnétiques sont susceptibles de disparaître
30 avec une augmentation de la température. Par exemple, le matériau utilisé est magnétique au dessous de 100°C

et amagnétique au dessus de 100°C. La température atteinte par la partie magnétique fixe lors du chauffage ne doit pas perturber le comportement de l'aimant de la partie magnétique mobile qui peut alors posséder un point de Curie plus élevé. Le point de Curie de l'aimant de la partie magnétique mobile peut ne pas être inférieur à celui de la partie magnétique fixe, mais dans ce cas l'aimant de la partie magnétique mobile possédera un faible couplage thermique avec la partie magnétique fixe de manière à ne pas chauffer lorsque la partie magnétique fixe chauffe.

Sur la figure 1A, l'aimant mobile 1-1 est collé sur l'aimant fixe 3-1 de gauche. Une fois qu'il se trouve dans une telle position stable, les forces magnétiques sont si importantes que même un choc très violent ne parviendrait pas à le décoller. Par exemple, avec des aimants mobile et fixes dont les dimensions sont de 50 μm x 50 μm x 10 μm , dotés d'une aimantation de 1 Tesla, il faudrait un choc largement supérieur à 1000G pour pouvoir le décoller et le déplacer d'1 μm .

Si on chauffe l'aimant fixe 3-1 de gauche il perd ses propriétés magnétiques, l'aimant mobile 1-1 se décolle, entre en mouvement et est attiré par l'aimant 3-1 fixe de droite. Il se colle sur l'aimant fixe 3-1 de droite et prend une autre position stable. Sur la figure 1B, l'aimant mobile 1-1 est en lévitation entre l'aimant fixe 3-1 de gauche et l'aimant fixe 3-1 de droite qui l'attire. Sur la figure 1C, l'aimant mobile 1-1 est maintenant collé sur l'aimant fixe 3-1 de droite, il reste dans cette position qui est stable.

L'aimant fixe 3-1 de gauche, qui n'est plus chauffé reprend ses propriétés magnétiques.

Pour revenir à la première position stable, il suffit de chauffer l'aimant fixe 3-1 de droite.

5 L'aimant fixe 3-1 de gauche attire l'aimant mobile 1-1 car il a retrouvé ses propriétés magnétiques.

La partie magnétique fixe 3 et la partie magnétique mobile 1 peuvent être dotées de contacts électriques comme l'illustrent les figures 2A, 2B, 2C,
10 2D.

Au moins une zone d'attraction 3-2 de la partie magnétique fixe 3 est pourvue d'une paire de contacts électriques C1, C2, ces contacts se prolongent au delà de la zone d'attraction 3-2 pour être
15 accessibles. La partie magnétique mobile 1 est dotée d'au moins un contact électrique C. Lorsque la partie magnétique mobile 1 est collée sur la zone d'attraction 3-2, son contact C vient relier électriquement les deux contacts C1, C2 de la paire. On peut réaliser ainsi un
20 relais électrique.

Sur les figures 2A, 2B, les deux aimants fixes 3-1 sont dotés de contacts C1, C2 et l'aimant mobile 1-1 a deux de ses faces 1-2 dotées chacune d'un contact C (le contact C sur sa face 1-2 qui vient en
25 contact avec l'aimant fixe 3-1 de gauche n'est pas visible sur les figures 2A, 2B). On a réalisé ainsi un dispositif 20 par exemple de type commutateur électrique, comportant au moins un actionneur magnétique selon l'invention.

30 Sur les figures 2C, 2D, la partie magnétique fixe au lieu d'être formée de deux éléments

3-1 dotés chacun d'une paire de contacts électriques est formée de deux paires d'éléments 3-1a, 3-1b. Les éléments 3-1a, 3-1b d'une paire sont côte à côte mais disjoints. Chacun des éléments 3-1a, 3-1b de la paire
5 est doté d'un contact électrique C1, C2 respectivement. Il n'y a pas de changement pour la partie magnétique mobile 1.

Dans les configurations des figures 1 et 2, l'aimantation des parties magnétiques fixe et mobile
10 est dirigée dans le même sens selon l'axe x.

On se réfère maintenant à la figure 3A. La seule différence par rapport aux figures précédentes se situe au niveau des moyens 4 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 1. Leur
15 principe est maintenant de créer un champ magnétique au voisinage de la partie magnétique mobile. Ces moyens 4 peuvent être réalisés par au moins un conducteur 4-1 destiné à être parcouru par un courant électrique pour générer le champ magnétique. Le conducteur 4-1 peut
20 avoir un grand nombre de configurations par exemple il peut prendre la forme d'une boucle ouverte ou d'un bobinage à une ou plusieurs spires. Dans la suite de la description, lorsqu'on on a employé le terme de bobinage, il pourrait aussi bien s'agir d'un conducteur
25 prenant une forme appropriée pour générer le champ magnétique sans pour autant être un bobinage.

Sur l'exemple de la figure 3A, se trouve un seul bobinage 4-1 sensiblement plat s'étendant dans un plan x, y. Le bobinage comporte une ou plusieurs spires
30 bobinées autour d'une partie centrale vide, la partie magnétique fixe 3 se trouve au voisinage des spires et

la partie magnétique mobile 1, lorsqu'elle est en lévitation se trouve à proximité de la partie centrale du bobinage 4-1. Lorsqu'une impulsion de courant parcourt ce bobinage 4-1, un champ magnétique est créé et il a pour effet de modifier l'équilibre magnétique des parties magnétiques fixe 3 et mobile 1 et de déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 1 d'une position stable vers une autre. L'impulsion nécessaire pour le passage d'une position à une autre peut être inférieure à 5 μ s pour l'actionneur dont les caractéristiques ont été données plus haut. Le reste de l'actionneur ne consomme pas d'énergie. Un actionneur qui commuterait mille fois par seconde consommerait environ 2mW ce qui est très faible. Avec des matériaux magnétiques de très bonne qualité, cette consommation pourrait être réduite.

La partie magnétique fixe 3 peut reposer sur le bobinage 4-1 tandis que la partie magnétique mobile 1 est en lévitation au dessus. Des isollements appropriés sont insérés entre la partie magnétique fixe et le bobinage.

Le sens du déplacement est conditionné par le sens du courant circulant dans le bobinage 4-1. Par exemple, avec un courant circulant dans le bobinage 4-1 dans le sens des aiguilles d'une montre et une aimantation dans les aimants fixes 3-1 et mobile 1-1 dans le sens de l'axe x, l'aimant mobile 3-1 sera attiré vers l'aimant fixe 3-1 de gauche.

Sur la figure 3B, les moyens 4 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 1 sont maintenant réalisés par deux conducteurs

40 qui entourent chacun un des éléments de la partie magnétique fixe. Ils prennent la forme de bobinages tubulaires.

On pourra utiliser pour la partie
5 magnétique fixe, des matériaux magnétiques doux, des matériaux magnétiques durs, des matériaux magnétiques à hystérésis, des matériaux diamagnétiques, des matériaux supra-conducteurs, ces matériaux étant pris seuls ou en combinaison. Les matériaux magnétiques doux tels que le
10 fer, le nickel, des alliages fer-nickel, fer-cobalt, fer-silicium, s'aimantent en fonction d'un champ inducteur auquel ils sont soumis. Les matériaux magnétiques durs correspondent aux aimants tels que les aimants en ferrite, les aimants au samarium-cobalt, les
15 aimants néodyme-fer-bore, les aimants platine-cobalt. Leur aimantation dépend peu du champ magnétique extérieur. Les matériaux à hystérésis, par exemple de type aluminium-nickel-cobalt (AlNiCo), ont des propriétés qui se situent entre celles des matériaux
20 magnétiques doux et celles des matériaux magnétiques durs. Ils sont sensibles au champ magnétique dans lequel ils se trouvent. Quand aux matériaux diamagnétiques tels que le bismuth ou le graphite pyrolitique, leur aimantation est colinéaire au champ
25 magnétique inducteur mais de sens opposé. Les matériaux supra-conducteurs pourraient être des alliages nobium-titane (NbTi), yttrium-barium-cuivre-oxygène (YBaCuO) par exemple.

L'aimant de la partie magnétique mobile
30 peut être réalisé par exemple, en ferrite, en samarium-cobalt, en néodyme-fer-bore, en platine-cobalt.

Les matériaux magnétiques à point de Curie bas qui conviennent pour réaliser la partie magnétique fixe sont par exemple les alliages manganèse-arsenic (MnAs), cobalt-manganèse-phosphore (CoMnP), erbium-fer-
5 bore (ErFeB).

Sur la figure 3C l'actionneur selon l'invention est transformé en positionneur. Dans cette configuration la partie magnétique mobile 1 est susceptible de prendre une pluralité de positions
10 intermédiaires entre les deux positions stables extrêmes qui correspondent aux cas où elle est collée sur la partie magnétique fixe 3. Au lieu d'envoyer une impulsion de courant dans le conducteur 4-1, on peut asservir le courant circulant dans le conducteur 4-1 en
15 fonction de la position de la partie magnétique mobile 1.

Les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile servent alors pour maintenir la partie magnétique mobile dans une position
20 stable alors qu'elle est en lévitation.

On peut utiliser un dispositif 5 qui détecte la position de la partie magnétique mobile 1. Le signal délivré par ce dispositif 5 est comparé à une consigne K dans un comparateur 6 et le résultat de
25 cette comparaison sert à commander une source d'alimentation 7 prévue pour alimenter le conducteur 4-1.

Le dispositif 5 qui détecte la position de la partie magnétique mobile 1 peut comprendre, associé
30 à chacun des éléments magnétiques fixes 3-1, un capteur de position capacitif 5-1 qui mesure la capacité

existant entre l'élément magnétique fixe 3-1 avec lequel il est associé et la partie magnétique mobile 1.

Un dispositif différentiateur 5-2 reçoit les signaux en provenance des deux capteurs de position capacitifs 5-1, en fait la différence et délivre un signal représentatif de la position de la partie magnétique mobile 1.

Les configurations précédemment décrites aux figures 1 à 3 ont l'avantage d'autoriser l'utilisation d'aimants de qualité moyenne. En effet un aimant crée un champ magnétique qui a tendance à le désaimanter. L'intensité de ce phénomène dépend de la direction d'aimantation par rapport à la forme de l'aimant. Ce phénomène de désaimantation est plus intense lorsque l'aimantation suit un petit côté de l'aimant et il est moins intense lorsque l'aimantation est dirigée selon un grand côté de l'aimant, ce qui est le cas sur ces figures, avec une aimantation dirigée selon l'axe x.

A ce jour, les aimants compatibles avec les technologies de réalisation collective sont sensibles à la désaimantation, mais en les aimantant dans une direction qui suit l'un de leur grand côté, on atténue cet inconvénient.

Les aimants qu'ils appartiennent à la partie magnétique fixe ou à la partie magnétique mobile peuvent finalement être réalisés de manière simple et en une seule opération parce qu'ils sont tous aimantés dans la même direction.

La figure 4 montre une variante d'un actionneur selon l'invention réalisé sur un substrat 9

par exemple une plaquette de silicium. Elle peut avoir une épaisseur de 300 μm si les parties magnétiques mobile et fixe ont les dimensions évoquées plus haut (de 50 μm x 50 μm x 10 μm)

5 Dans cette configuration la partie magnétique fixe 3 est rapportée à la surface du substrat 9, la partie magnétique mobile 1, quand elle n'est pas collée à la partie magnétique fixe 3, flotte au dessus du substrat 9, dans le champ magnétique créé
10 par la partie magnétique fixe 3, quant aux moyens 4 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 1, ils sont encastrés dans le substrat 9.

Les parties magnétiques mobile 1 et fixe 3 peuvent être réalisées de manière similaire à celles
15 des figures 1 à 3, mais d'autres configurations sont possibles. Au lieu d'être formée par deux éléments, la partie magnétique fixe pourrait être massive. Au lieu d'être réalisée à base d'aimant, elle pourrait être réalisés dans un matériau ferromagnétique.

20 On suppose que l'aimantation des parties magnétiques fixe et mobile suivent maintenant l'axe z au lieu de suivre l'axe x. Cette aimantation suit l'épaisseur des parties magnétiques mobile et fixes qui ont la forme de plaques. Mais ces aimantations sont de
25 sens opposé. Les deux plaques d'aimant 3-1 ou de matériau ferromagnétique de la partie magnétique fixe 3 ont une aimantation dans le même sens et l'aimantation de l'aimant 1-1 de la partie magnétique mobile 1 est de sens opposé. Si les plaques 3-1 de la partie magnétique
30 fixe 3 sont ferromagnétiques, leur aimantation dépend de celle de l'aimant 1-1 de la partie magnétique mobile

1, elle est naturellement opposée à celle de la partie magnétique mobile 1.

Les moyens 4 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 1 sont modifiés de manière appropriée pour pouvoir être efficaces. Ils sont formés dans cet exemple de deux bobinages 410, 411 sensiblement plans, placés côte à côte, dans le même plan, le long de l'axe x. Chacun de ces bobinages 410, 411 est comparable à celui représenté à la figure 3A. Mais maintenant la partie magnétique mobile 1 se trouve à cheval sur des portions de spire des chacun des bobinages 410, 411.

Les deux bobinages 410, 411 peuvent être alimentés en série, en parallèle ou indépendamment l'un de l'autre. Aucune source d'alimentation n'a été représentée pour ne pas surcharger la figure. La création d'une dissymétrie dans les courants parcourant les deux bobinages 410, 411 peut permettre d'entraîner la partie magnétique mobile 1 en rotation autour de l'axe y lorsqu'elle est en lévitation.

En rendant réfléchissante une portion 10 de la partie magnétique mobile 1 et en ajustant le courant dans les bobinages 410, 411, il est possible de contrôler l'angle de réflexion d'un faisceau lumineux F incident sur la face réfléchissante. Dans cet exemple cette portion 10 se trouve sur la face principale supérieure de la partie magnétique mobile 1. On peut ainsi réaliser un scanneur optique. On pourrait imaginer que la portion 10 se trouve sur un bord de la partie magnétique mobile 1 ou sur sa face principale inférieure si le substrat 9 le permet. Ce dernier

pourrait être doté d'une ouverture ou laisser passer le faisceau lumineux F s'il est réalisé en verre par exemple.

La partie magnétique mobile 1 possède une
5 fréquence de résonance et en exploitant cette fréquence, il est possible de réaliser un scanneur optique à très faible consommation électrique. Cette alimentation correspond à celle injectée dans les bobinages pour obtenir la rotation de la partie
10 magnétique mobile lorsqu'elle est en lévitation et donc le balayage souhaité du faisceau lumineux F. A la résonance, il faut fournir très peu d'énergie au système pour le faire osciller. En théorie, une impulsion suffirait à le faire osciller indéfiniment.

15 La figure 5 illustre une variante de la configuration précédente. Les deux éléments 3-1 de la partie magnétique fixe 3, au lieu de se trouver dans un même plan présentent une dissymétrie de forme ou de position vis à vis de la partie magnétique mobile 1.
20 Dans cet exemple, ils sont maintenant inclinés l'un par rapport à l'autre. Sur la figure 5, ils sont inclinés autour de l'axe x. La partie magnétique mobile 1 en venant se coller sur un des éléments 3-1 de la partie magnétique fixe prend la même inclinaison que lui. Si
25 la partie magnétique mobile 1 est dotée d'une portion réfléchissante 10, un rayon lumineux F venant se réfléchir sur cette portion 10 sera dévié avec une inclinaison qui dépend de celle de l'élément magnétique fixe sur lequel vient se coller la partie magnétique
30 mobile. On réalise alors un commutateur optique.

La figure 6 est un actionneur selon l'invention qui se déduit de la configuration de la figure 4. Maintenant les moyens 4 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 1 comportent quatre bobinages 401, 402, 403, 404 plans, situés dans un même plan x, y et arrangés en matrice. La partie magnétique mobile chevauche une portion de spire des quatre bobinages 401, 402, 403, 404 et chaque élément 3-1 de la partie magnétique fixe 3 chevauche une portion de spire de deux des bobinages 401, 402, 403, 404. Avec une telle configuration, il est possible de contrôler le déplacement de la partie magnétique mobile 1 dans un plan parallèle à celui des bobinages selon quatre directions, deux selon l'axe x et deux selon l'axe y. On contrôle deux degrés de liberté de la partie magnétique mobile. De même, il est possible de contrôler deux rotations autour des axes x et y : on contrôle alors quatre degrés de liberté.

En ajoutant un cinquième bobinage 405 qui ceinture l'ensemble des quatre premiers bobinages 401, 402, 403, 404, et qui se trouve dans le même plan x, y qu'eux ou dans un plan parallèle, il est possible d'obtenir un déplacement de la partie magnétique mobile 1 dans une direction perpendiculaire au plan des bobinages 401 à 405, c'est à dire dans ce cas selon l'axe z.

Sur la figure 7, la partie magnétique mobile 1 est similaire à celle de la figure 6, les moyens 4 pour déclencher le déplacement également à l'exception du cinquième bobinage 405 qui a été omis, dans un but de simplification mais qui pourrait être

présent. La différence se situe maintenant au niveau des moyens magnétiques fixes 3 qui comportent maintenant quatre éléments magnétiques fixes 31, 32, 33, 34 formant une croix avec la partie magnétique mobile 1. Chacun de ces éléments 31, 32, 33, 34 de la partie magnétique fixe 3 chevauche une portion de spire de deux bobinages respectivement (401, 404), (401, 402), (402, 403), (403, 404). La partie magnétique mobile 1 peut alors être contrôlée suivant les mêmes directions que celles de la figure 6. L'ajout du cinquième bobinage pourrait être envisagé pour obtenir un déplacement selon une direction perpendiculaire au plan des premiers bobinages 401, 402, 403, 404.

Dans cette configuration, l'actionneur peut prendre quatre positions stables, la partie magnétique mobile 1 peut se coller sur chacun des quatre éléments magnétiques fixes 31, 32, 33, 34.

Sur la figure 6, il ne possédait que deux positions stables puisqu'il n'y avait que deux éléments magnétiques fixes 3-1.

Sur la figure 8, il n'y a pas de changement par rapport à la figure 7 ni pour la partie magnétique mobile 1, ni pour les moyens 4 pour déclencher son déplacement. Par contre, au lieu d'être formée de plusieurs éléments voisins, la partie magnétique fixe 3 est formée d'un seul élément 30 qui ceinture la partie magnétique mobile 1. La partie magnétique mobile 1 peut alors prendre une infinité de positions stables lorsqu'elle vient se coller contre l'élément magnétique fixe 30. On peut alors obtenir un positionneur.

Sur la figure 8, la partie magnétique fixe a été représentée telle une plaque carrée évidée. D'autres formes sont bien sûr envisageables, par exemple en anneau. La partie magnétique mobile doit
5 avoir une forme compatible avec celle de la partie magnétique fixe. A une forme en anneau pour la partie magnétique fixe correspondrait une forme en disque pour la partie magnétique mobile.

Le contrôle de la position de la partie
10 magnétique mobile est similaire à ce qui a été décrit aux figures 6 et 7. Dans cette configuration également un cinquième bobinage pourrait être ajouté pour contrôler la position dans un plan perpendiculaire à celui des quatre premiers bobinages.

15 De tels actionneurs peuvent être utilisés en groupe. Un dispositif avec une pluralité d'actionneurs A selon l'invention a été représenté sur les figures 9A, 9B. Sur la figure 9A, les différents actionneurs A sont disposés en matrice M sur un même
20 support 9, à la croisée entre n conducteurs de lignes i_1 à i_3 et m conducteurs de colonnes j_1 à j_4 (n et m sont des entiers, n et m peuvent être différents ou non). De cette manière, des signaux se propageant sur une nappe formée des n conducteurs de lignes i_1 à i_3
25 peuvent être commutés vers les m conducteurs de colonne j_1 , j_2 , j_3 , j_4 . Ces signaux peuvent être des signaux électriques ou optiques en fonction de la nature des actionneurs A. Du fait de la bistabilité des actionneurs A de la matrice M, cette dernière peut être
30 programmée et garder sa configuration sans qu'il soit nécessaire de l'alimenter électriquement.

Si les actionneurs fonctionnent en positionneurs, une telle matrice permet d'accéder à plusieurs mémoires montées en parallèle, chaque position du positionneur correspondant à une position
5 mémoire d'une des mémoires.

Les actionneurs peuvent être regroupés en une matrice particulière B comme sur la figure 9B avec un conducteur de ligne i1 et plusieurs conducteurs de colonne j1 à j4. En connectant un bus sur le conducteur
10 de ligne i1, les signaux qu'il véhicule peuvent être orientés vers les différents conducteurs de colonne j1 à j4 en fonction de l'état des différents actionneurs A.

On va voir maintenant différentes étapes de réalisation en microtechnologie de microactionneurs
15 selon l'invention. Ces microactionneurs ont leurs parties magnétiques mobile et fixe réalisées par des aimants. Les moyens de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile sont réalisés par des
20 bobinages. Sur les figures on ne voit qu'un microactionneur mais en fait l'avantage de ce procédé est de pouvoir en réaliser plusieurs en même temps sur un même substrat.

Sur les figures 14A, 14B le microactionneur
25 se trouve encastré totalement dans le substrat réalisé en deux parties assemblées. Sur les figures 13A, 13B, seuls les moyens de déclenchement sont encastrés dans le substrat également réalisé en deux parties assemblées, les parties magnétiques mobile et fixe sont
30 placées sur le substrat. Sur les figures 13A, 13B, les deux parties sont des substrats semi-conducteurs

classiques massifs tandis que sur la figures 14A, 14B, l'une d'entre elle est un substrat classique massif tandis que l'autre est un substrat SOI (sigle de silicon on insulator, pour silicium sur isolant). Un tel substrat en silicium possède une couche de matériau isolant 93-1, de l'oxyde de silicium, enfouie au sein du silicium. Son avantage est que lorsqu'on fait une opération de gravure, la couche de matériau isolant peut servir de couche d'arrêt.

10 Sur un premier substrat soit classique massif 91 en matériau semi-conducteur, soit de type SOI 93 on va réaliser les microaimants (figures 10A à 10I et 11A à 11I). Sur un second substrat 92 massif en matériau semi-conducteur ou de type SOI, on va réaliser
15 les moyens de déclenchement du déplacement prenant la forme d'un ou plusieurs conducteurs pouvant être agencés en bobinage (figures 12A à 12G). Sur ces figures 12A à 12G on a représenté un substrat massif. Toutefois sur la figure 12B on a schématisé par des
20 pointillés la position de que prendrait la couche de matériau isolant d'un substrat SOI.

On part du premier substrat 91, 93. On délimite la géométrie des aimants par photolithographie. On utilise pour cela une résine 50-1
25 (figures 10A, 11A).

On grave dans le premier substrat 91, 93 des caissons 51 pour les aimants. La gravure peut être une gravure sèche. Dans le substrat SOI 93, la gravure s'arrête sur la couche d'oxyde 93-1. On ôte la résine
30 50-1. On dépose une sous-couche d'accrochage

conductrice 52 sur le substrat 91, 93. En fait cette variante ne se trouve que sur la figure 10B.

Sur la figure 11B, il y a deux sous-couches d'accrochage 52-1, 52-2, la seconde 52-2 étant insérée
5 entre la première 52-1 et le substrat 93. Elle permet une bonne adhésion au substrat 93 de la première sous-couche 52-1. Elle permet aussi une protection de l'aimant mobile 1-1, réalisé ultérieurement, contre la corrosion. La première sous-couche peut être en or et
10 la seconde en titane. Ces deux sous-couches pourraient être employées dans l'exemple de la figure 10B.

On définit la zone de dépôt des aimants par photolithographie. La couche de résine employée porte la référence 50-2. On dépose les aimants 3-1, 1-1 par
15 voie électrolytique. Le matériau employé peut être du cobalt-platine (figures 10C, 11C).

Après une étape de retrait de la résine 50-2, on effectue une étape de planarisation des aimants puis une étape de retrait de la sous-couche 52 en
20 surface (figures 10D) ou des deux sous-couches 52-1, 52-2 (figure 11D).

On dépose ensuite une couche conductrice 53 en surface destinée à réaliser les contacts électriques C1, C2, C sur les aimants 3-1, 1-1. On définit la
25 géométrie des contacts C1, C2, C par photolithographie. La résine porte la référence 50-3 (figures 10E, 11E). Puisque tous les aimants sont réalisés en même temps, l'aimant mobile 1-1 porte aussi une couche conductrice sur sa face supérieure, elle a
30 un rôle de protection contre la corrosion.

L'étape suivante est une étape de gravure de la couche conductrice 53 pour délimiter les contacts C1, C2, C. On ôte ensuite la résine 50-3. On dépose en surface une couche isolante 54, en SiO_2 par exemple
5 puis on effectue une étape de planarisation (figures 10F, 11F).

On va ensuite définir au moins une ouverture 46 pour rendre accessible des contacts d'alimentation du ou des conducteurs à réaliser sur le
10 second substrat, ainsi que la géométrie de l'espace libre 58 entourant la partie magnétique mobile 1-1 de manière à permettre son déplacement. Cette étape est une étape de photolithographie et la résine employée porte la référence 50-4 (figures 10G, 11G).

15 On vient ensuite graver la couche d'isolant 54 là où il n'y a pas de résine 50-4. On ôte la résine 50-4 (figures 10H, 11H). L'aimant mobile 1-1 est alors mis à nu ainsi que son entourage jusqu'aux aimants fixes 3-1.

20 On effectue ensuite une gravure sèche du substrat 91, 93 au niveau de l'espace 58 autour de la partie magnétique mobile 1-1 et au niveau des ouvertures 46 qui s'arrête sur la couche d'isolant dans le cas du substrat SOI 93 (figures 10I, 11I).

25 On suppose que l'actionneur à réaliser est similaire de celui de la figures 3A avec un seul conducteur 4-1.

Sur le second substrat 92, on définit la géométrie du conducteur 4-1 et de ses extrémités 45
30 devant porter les contacts d'alimentation par

photolithographie. La résine employée porte la référence 50-5 (figures 12A).

On effectue une gravure d'un caisson 55 devant accueillir le conducteur 4-1. Dans un substrat SOI la gravure du caisson 55 s'arrête sur la couche isolante. La profondeur du caisson 55 correspond à l'épaisseur du conducteur 4-1. Après le retrait de la résine 50-5, on dépose en surface une sous-couche conductrice 56 d'accrochage (figure 12B). Elle peut être réalisée en cuivre par exemple. On peut aussi introduire une seconde sous-couche comme décrit à la figure 10B. Elle peut être réalisée en titane par exemple.

On définit par photolithographie la zone de dépôt du conducteur. La résine employée porte la référence 50-6. On dépose par voie électrolytique le conducteur 4-1, ses extrémités référencées 45 sont bien visibles (figures 12C). Le dépôt peut être du cuivre.

On ôte la résine 50-6, on planarise le dépôt conducteur. On grave la sous-couche conductrice 56 en surface pour la retirer (figure 12D).

On dépose ensuite en surface une couche conductrice 57 destinée réaliser les contacts d'alimentation 47 du conducteur 4-1, ces contacts 47 recouvrant les extrémités 45 du conducteur 4-1. On définit la géométrie des contacts 47 par photolithographie, la résine employée pour cela portant la référence 50-7 (figure 12E).

On grave ensuite la couche conductrice 57 de manière à la retirer partout où elle n'est pas

protégée par la résine 50-7. Après retrait de la résine 50-7, on dépose en surface une couche isolante 59. Elle peut être réalisée en oxyde de silicium SiO_2 . Elle va isoler le conducteur 4-1 des aimants 3-1, 1-1 lors de l'assemblage du premier substrat 91, 93 et du second substrat 92 (figure 12F).

On réalise une planarisation en surface et on met à nu les contacts 47 (figure 12G).

On va ensuite assembler par collage, en les mettant face à face, le substrat de la figure 10I au substrat de la figure 12G (figure 13A) ou le substrat de la figure 11I au substrat de la figure 12G (figure 14A).

Il faut s'assurer maintenant que les aimants 1-1, 3-1 sont aimantés car sinon, lors de la libération de l'aimant mobile 1-1, il ne serait pas attiré par les aimants fixes 3-1 qui eux restent bien solidaires du substrat par la sous-couche d'accrochage.

On va éliminer totalement ou partiellement le premier substrat 91, 93. Il peut s'agir d'un amincissement mécanique et/ou d'une attaque chimique. Sur la figure 13B, le substrat 91 a été complètement ôté tandis que sur la figure 14B, l'élimination s'est arrêtée sur la couche d'oxyde 93-1 et le silicium du substrat 93 qui se trouve en dessous reste en place. On termine par le retrait de la couche d'oxyde 93-1. Les aimants 3-1, 1-1 sont alors encastrés dans le substrat formé des deux parties assemblées 92 et 93 alors que sur la figure 13B ils sont en surface du substrat 92.

L'actionneur selon l'invention, s'il occupe un volume supérieur à environ 1 centimètre cube, risque

d'être sensible à l'environnement extérieur tel que les vibrations et les chocs. Ses performances risquent de ne pas être optimales dans de tels environnements perturbés. Par contre, contre toute attente, avec des dimensions plus faibles ses performances sont grandement améliorées quelles que soient l'environnement. L'interaction entre les parties magnétiques fixe et mobile est favorable et n'apporte pas de dégradation des performances comme dans le cas d'un actionneur beaucoup plus volumineux.

Bien qu'un certain nombre de modes de réalisation de la présente invention ait été représenté et décrit de façon détaillée, on comprendra que différents changements et modifications puissent être apportés sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Actionneur magnétique comportant une
partie magnétique fixe (3) qui coopère magnétiquement
5 avec une partie magnétique mobile (1), des moyens (4)
pour déclencher le déplacement de la partie magnétique
mobile (1), caractérisé en ce que la partie magnétique
mobile (1) comporte au moins un aimant (1-1) et en ce
que la partie magnétique fixe (3) présente au moins
10 deux zones d'attraction (3-2) sur lesquelles la partie
magnétique mobile est susceptible de venir se coller,
la partie magnétique mobile (1) étant en lévitation
lorsqu'elle n'est pas collée sur l'une des zones
d'attraction (3-2).

15

2. Actionneur magnétique selon la
revendication 1, caractérisé en ce que la partie
magnétique fixe (3) est réalisée en un matériau choisi
dans le groupe des matériaux magnétiques doux, des
20 matériaux magnétiques durs, des matériaux à hystérésis,
des matériaux supraconducteurs, des matériaux
diamagnétiques, ces matériaux étant pris seuls ou en
combinaison.

25

3. Actionneur magnétique selon la
revendication 1, caractérisé en ce que les moyens (4)
pour déclencher le déplacement de la partie magnétique
mobile (1) sont des moyens de chauffage (R) de la
partie magnétique fixe (3).

30

4. Actionneur magnétique selon la revendication 3, caractérisé en ce que le matériau de la partie magnétique fixe (3) a un point de Curie inférieur à celui de l'aimant (1-1) de la partie magnétique mobile (1).

5. Actionneur magnétique selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'aimant (1-1) de la partie magnétique mobile (1) est isolé thermiquement de la partie magnétique fixe (3).

6. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens (4) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile créent un champ magnétique au voisinage de la partie magnétique mobile (1).

7. Actionneur magnétique selon la revendication 6, caractérisé en ce que les moyens (4) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile (1) sont réalisés par au moins un conducteur (4-1) apte à être parcouru par un courant électrique.

8. Actionneur magnétique selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (5, 6) pour asservir le courant à faire circuler dans le conducteur (4-1) à la position de la partie magnétique mobile (1) de manière à ce qu'elle puisse prendre une pluralité de positions stables en lévitation.

9. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce que le conducteur (40) entoure la partie magnétique fixe (3).

5 10. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que le conducteur (4-1) prend la forme d'un bobinage sensiblement plan.

10 11. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les parties magnétiques fixe (3) et mobile (1) sont sensiblement planes.

15 12. Actionneur magnétique selon la revendication 11, caractérisé en ce que les parties magnétiques fixe (3) et mobile (1) sont disposées sensiblement dans le même plan.

20 13. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 7 à 12, caractérisé en ce que le conducteur (4-1) et les parties magnétiques fixe (1) et mobile (3) sont disposés dans des plans sensiblement parallèles.

25 14. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que la partie magnétique fixe (3) est formée d'un élément (30) qui entoure la partie magnétique mobile (1).

30

15. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que la partie magnétique fixe (3) est formée de plusieurs éléments (3-1), la partie magnétique mobile (1) venant se coller
5 sur un des éléments (3-1) de la partie magnétique fixe (3) ou sur un autre.

16. Actionneur magnétique selon la revendication 15, dans lequel la partie magnétique fixe
10 (3) comporte plusieurs éléments (3-1) orientés dans des plans différents, la partie magnétique mobile (1) prenant l'orientation de l'élément (3-1) sur lequel elle est collée.

17. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que l'aimantation de partie magnétique fixe (3) et celle de la partie magnétique mobile (1) sont dirigées dans une
15 même direction.

18. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que l'aimantation de partie magnétique fixe (3) et celle de la partie magnétique mobile (1) sont dirigées dans des
20 directions opposées.

19. Actionneur magnétique selon la revendication 16, caractérisé en ce que les moyens (4) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique
30 mobile (1) sont aptes à déclencher un déplacement en rotation.

20. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 19, caractérisé en ce que la partie magnétique fixe (3) comporte au niveau d'une zone d'attraction (3-2) une paire de contacts électriques (C1, C2) et en ce que la partie magnétique mobile (1) comporte au moins un contact électrique (C), la partie magnétique mobile (1) venant relier les deux contacts (C1, C2) de la paire lorsqu'elle vient se coller sur la zone d'attraction (3-2).

21. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 20, caractérisé en ce que la partie magnétique mobile (1) comporte une zone réfléchissante (10) destinée à réfléchir un rayon lumineux (F).

22. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 21, caractérisé en ce qu'il est réalisé sur un substrat amagnétique (9), les moyens (4) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile (1) étant encastrés dans le substrat.

23. Matrice d'actionneurs magnétiques caractérisée en ce qu'elle comporte une pluralité d'actionneurs magnétiques (A) selon l'une des revendications 1 à 22, ces actionneurs magnétiques étant regroupés sur un même support (9).

24. Dispositif caractérisé en ce qu'il comporte au moins un actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 22.

25. Procédé de réalisation d'un actionneur magnétique, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- 5 - sur un premier substrat (91, 93) réalisation de caissons (51) aptes à recevoir une partie magnétique fixe et une partie magnétique mobile avec un aimant,
 - 10 - dépôt dans les caissons (51) de la partie magnétique fixe (3) et de la partie magnétique mobile (1) avec l'aimant (1-1), ,
 - 15 - dépôt d'une couche diélectrique (54) et gravure de cette dernière pour mettre à nu la partie magnétique mobile (1) et son entourage jusqu'à la partie magnétique fixe (3),
 - 20 - sur un second substrat (92) réalisation d'au moins un caisson (55) apte à recevoir un conducteur destiné à déclencher un déplacement de la partie magnétique mobile,
 - 25 - dépôt du conducteur (4-1) dans le caisson (55),
 - assemblage des deux substrats (91 ou 93, 92) en les mettant face à face,
 - élimination totale ou partielle du
 - premier substrat (91, 93) de manière à libérer la
 - partie magnétique mobile (1).

26. Procédé selon la revendication 25, caractérisé en ce qu'il comporte une étape

30 d'aimantation de l'aimant (1-1) de la partie magnétique mobile (1) et éventuellement de la partie magnétique

fixe (3) avant la libération de la partie magnétique mobile(1).

27. Procédé selon l'une des revendications
5 25 ou 26, caractérisé en ce que l'étape de gravure de la couche diélectrique (54) du premier substrat (91, 93) vise également à réaliser au moins une ouverture (46) d'accès à au moins un contact électrique d'alimentation du conducteur (4-1).

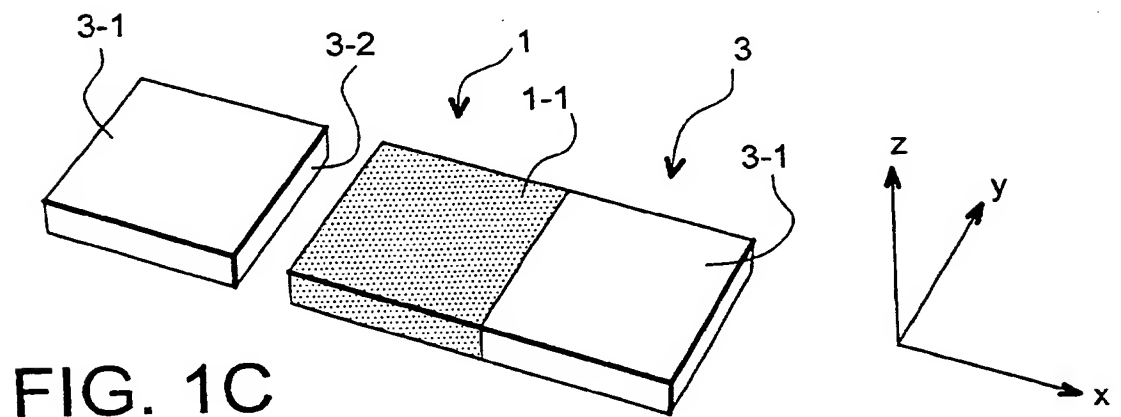
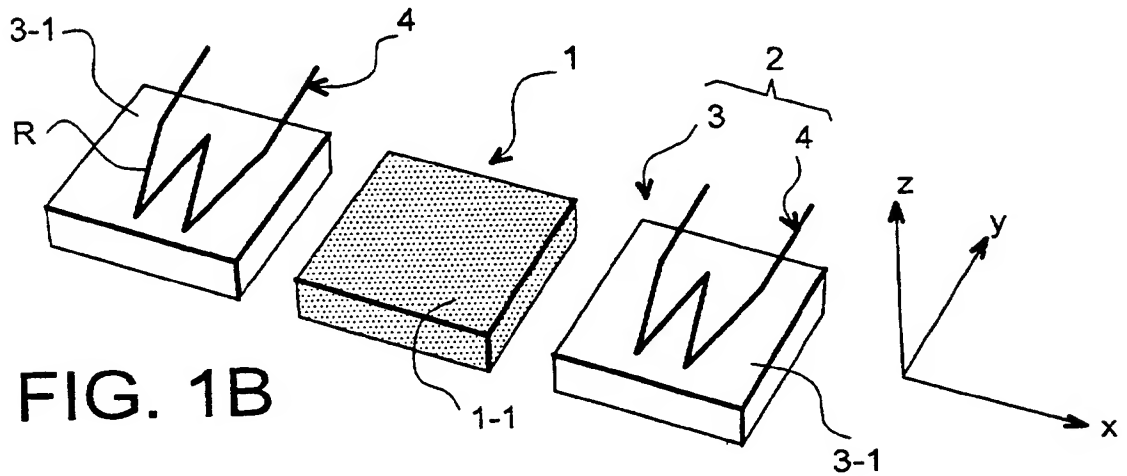
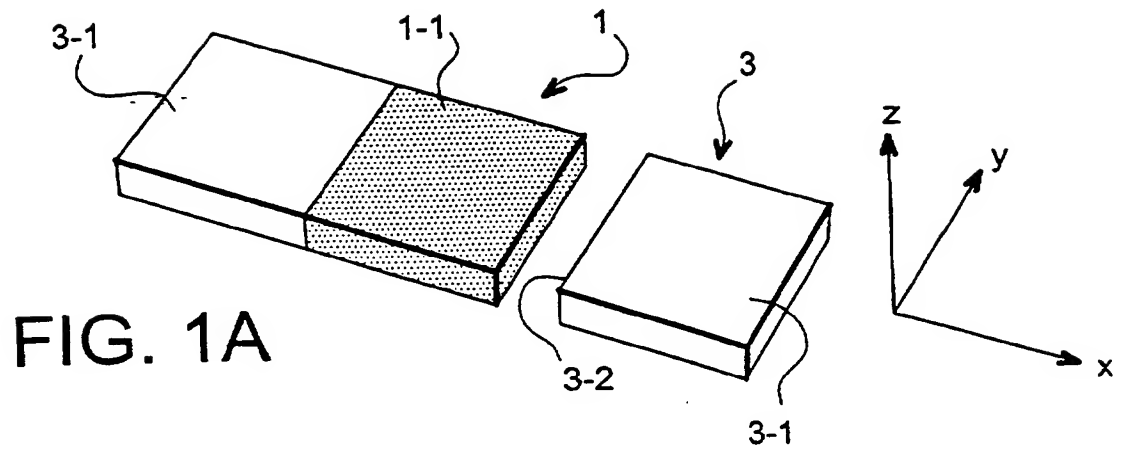
10

28. Procédé selon l'une des revendications
25 à 27, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de réalisation d'au moins un contact électrique (47) pour l'alimentation du conducteur (4-1) sur le second
15 substrat après le dépôt du conducteur et avant l'assemblage des deux substrats (91 ou 93, 92).

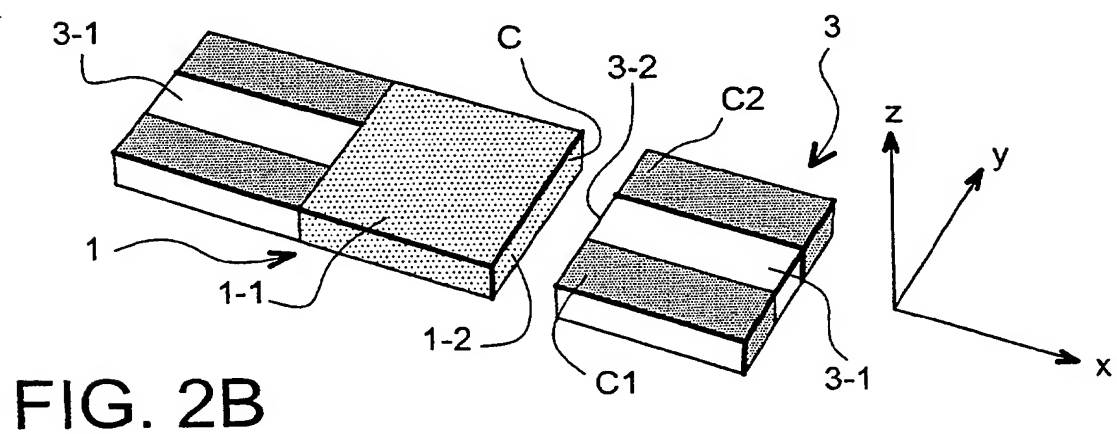
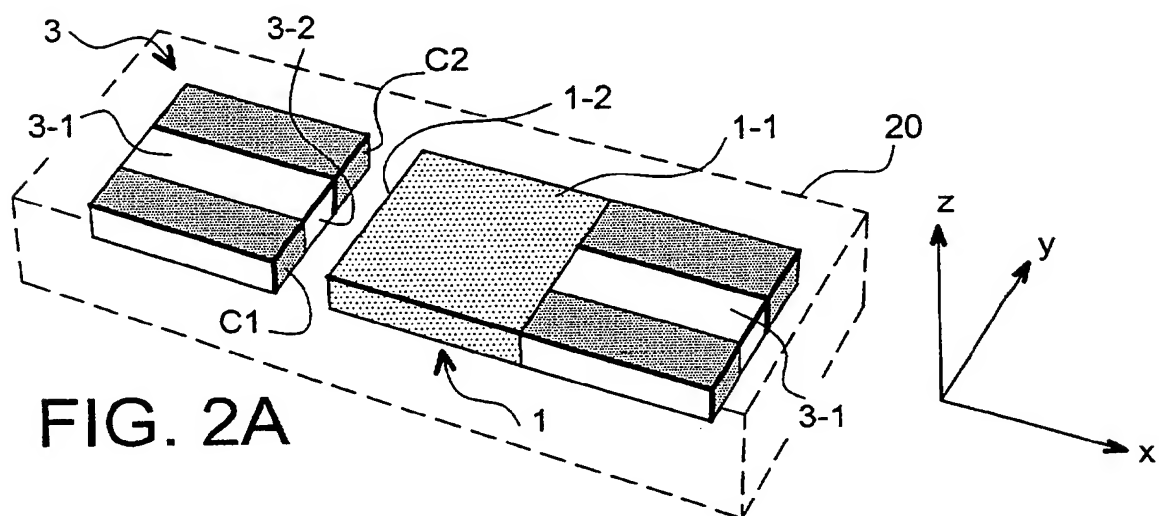
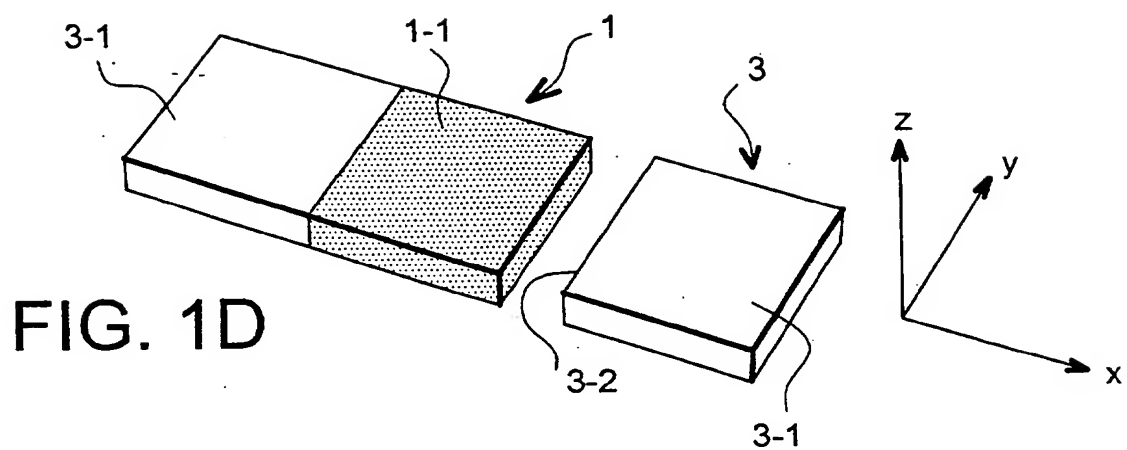
29. Procédé selon l'une des revendications
25 à 28, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de
20 dépôt d'un matériau diélectrique (59) en surface du second substrat (92) avant l'assemblage des deux substrats (91 ou 93, 92) pour protéger le conducteur (4-1).

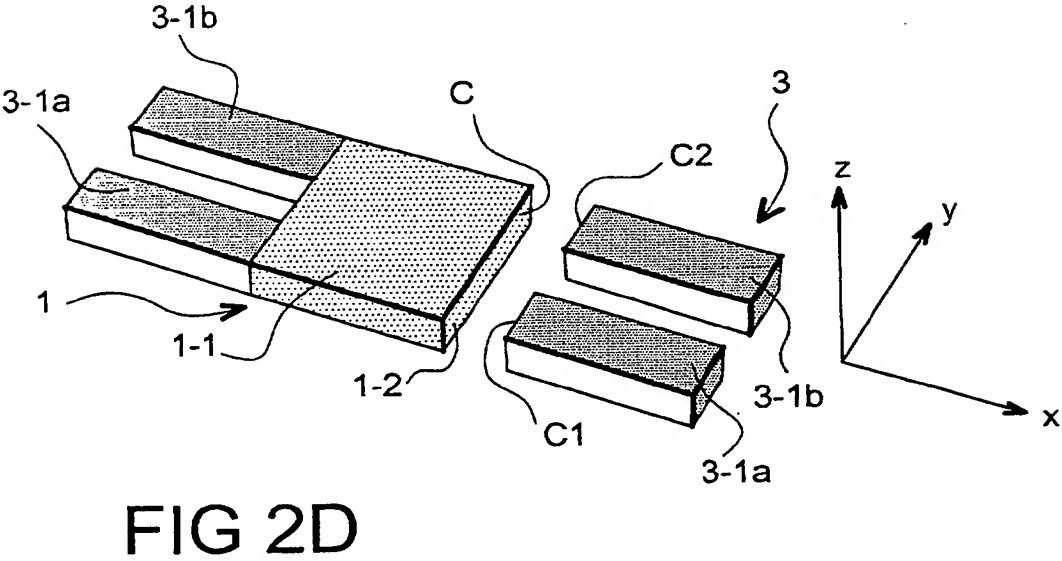
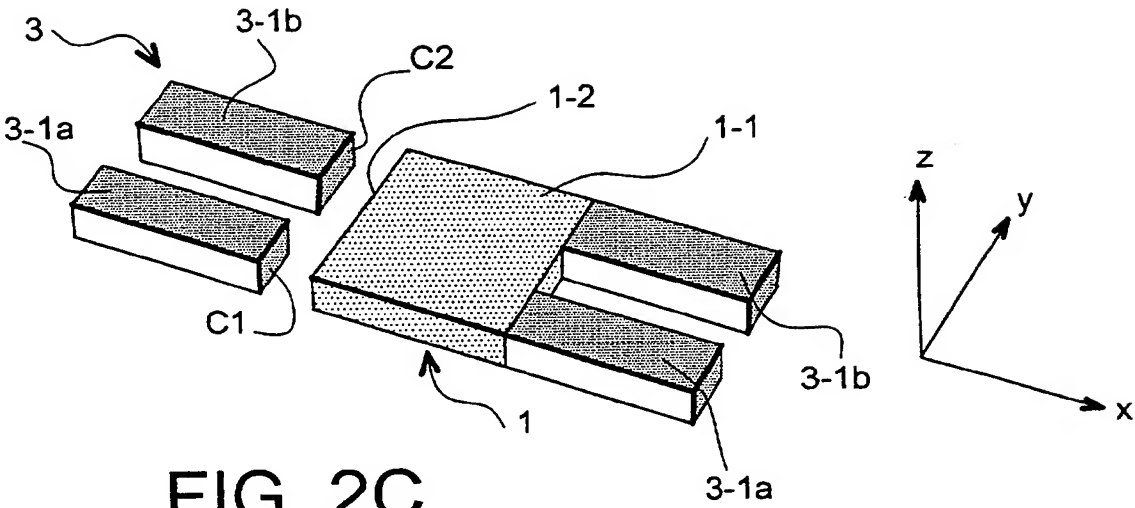
25 30. Procédé selon l'une des revendications
25 à 29, caractérisé en ce que les substrats sont des substrats semi-conducteurs massifs ou de type SOI (93).

1 / 17



2 / 17





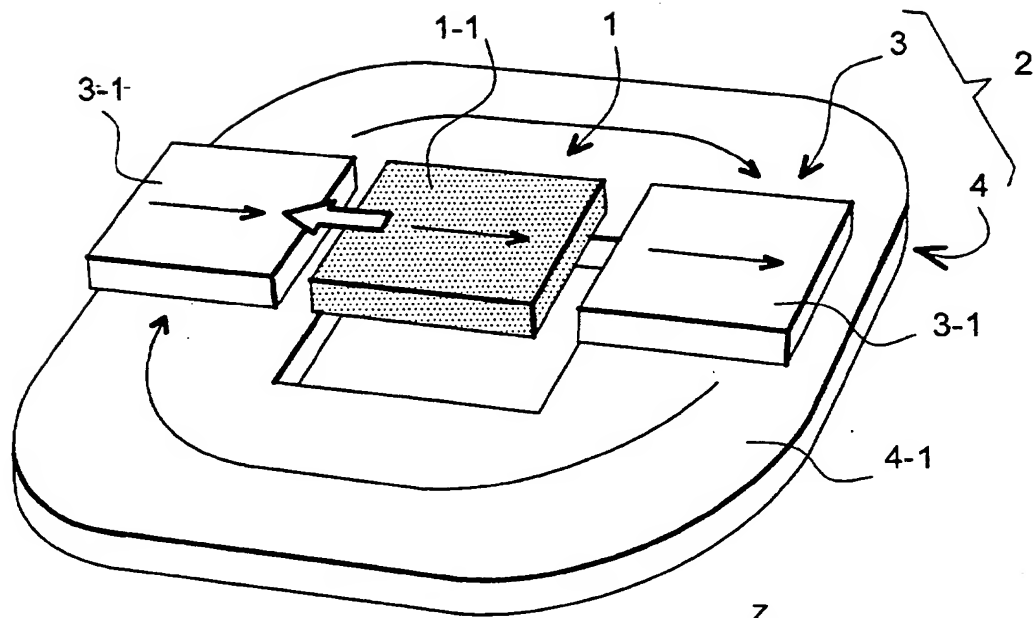


FIG. 3A

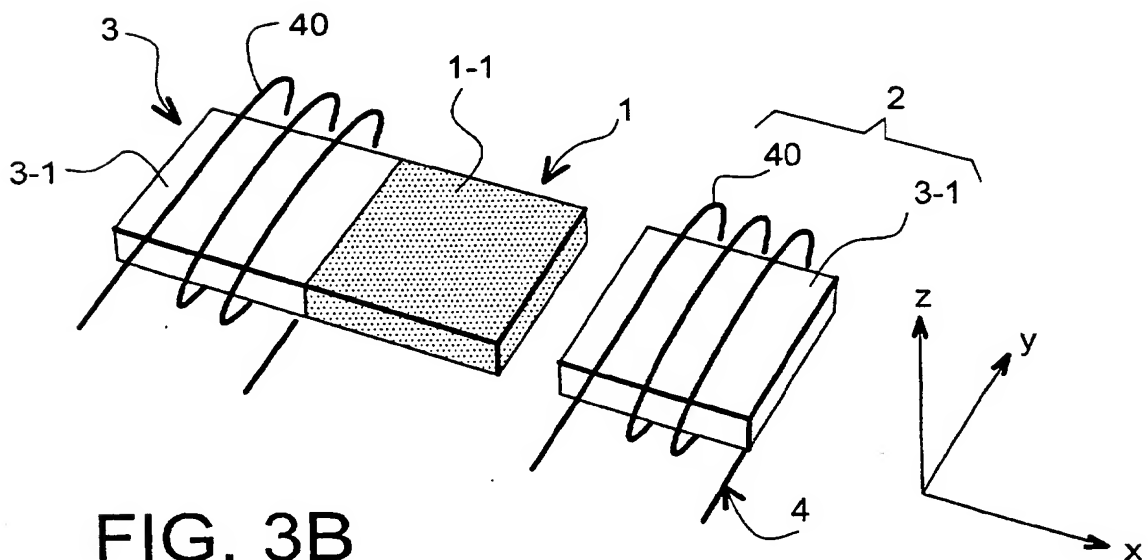


FIG. 3B

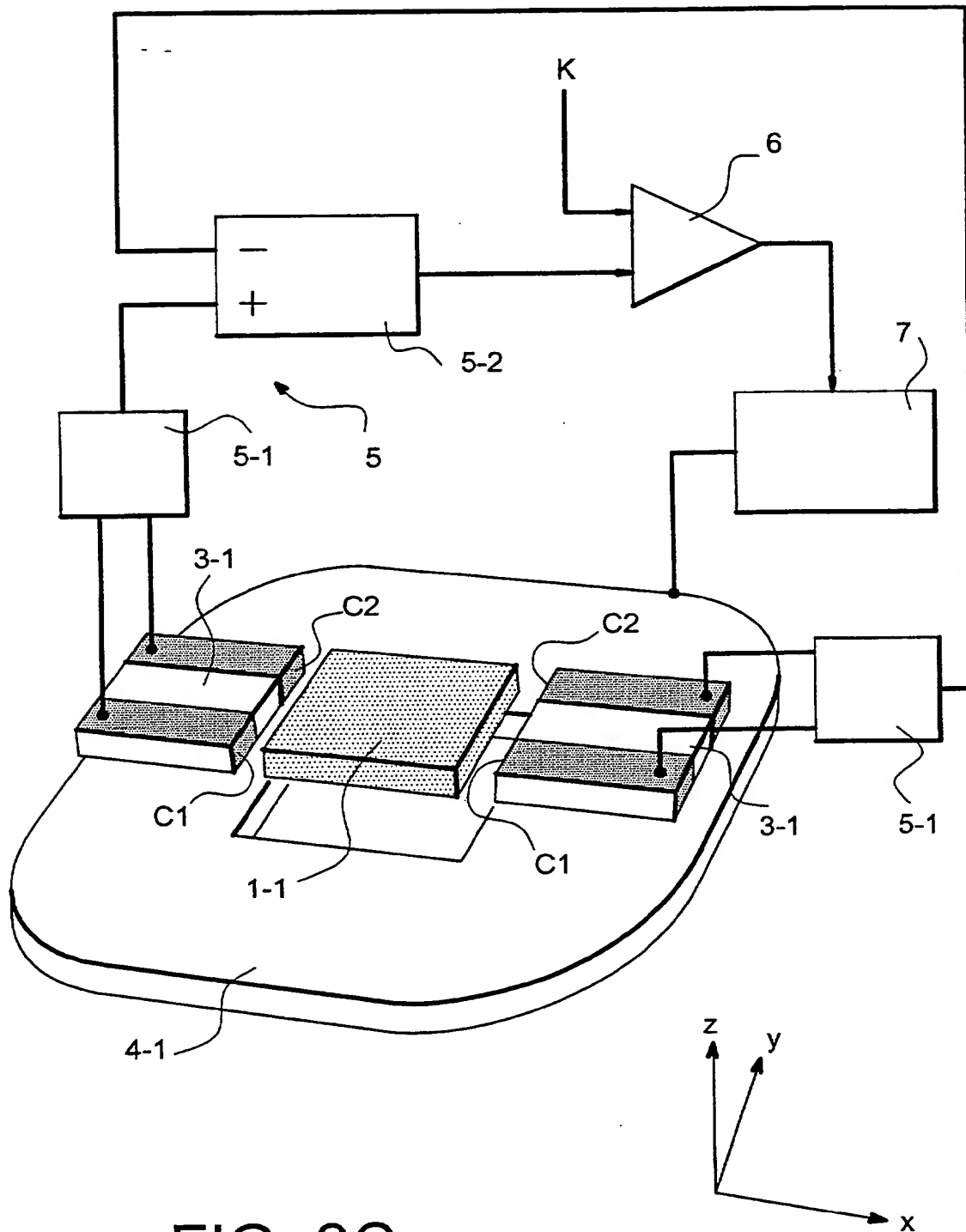
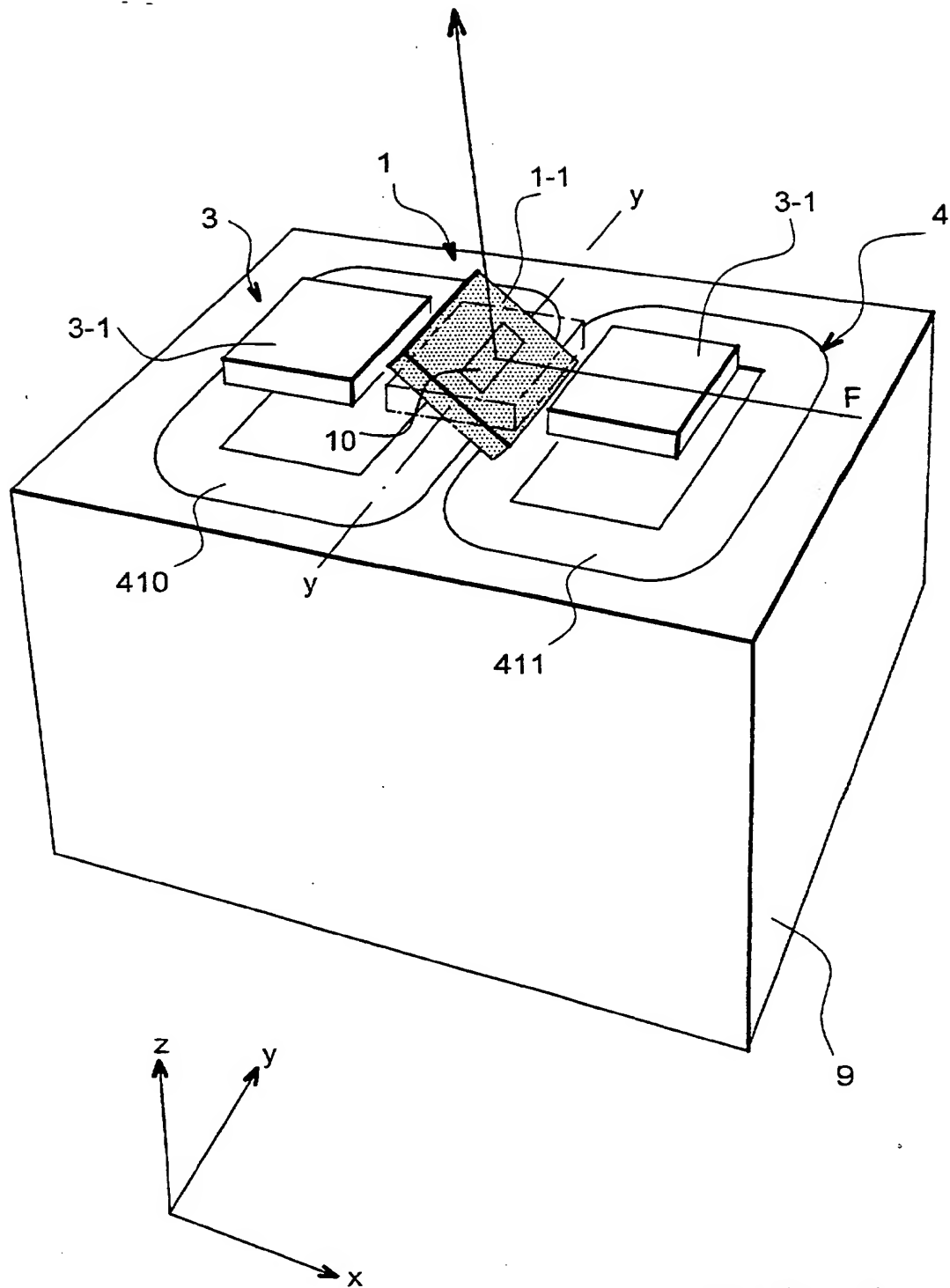


FIG. 3C



7 / 17

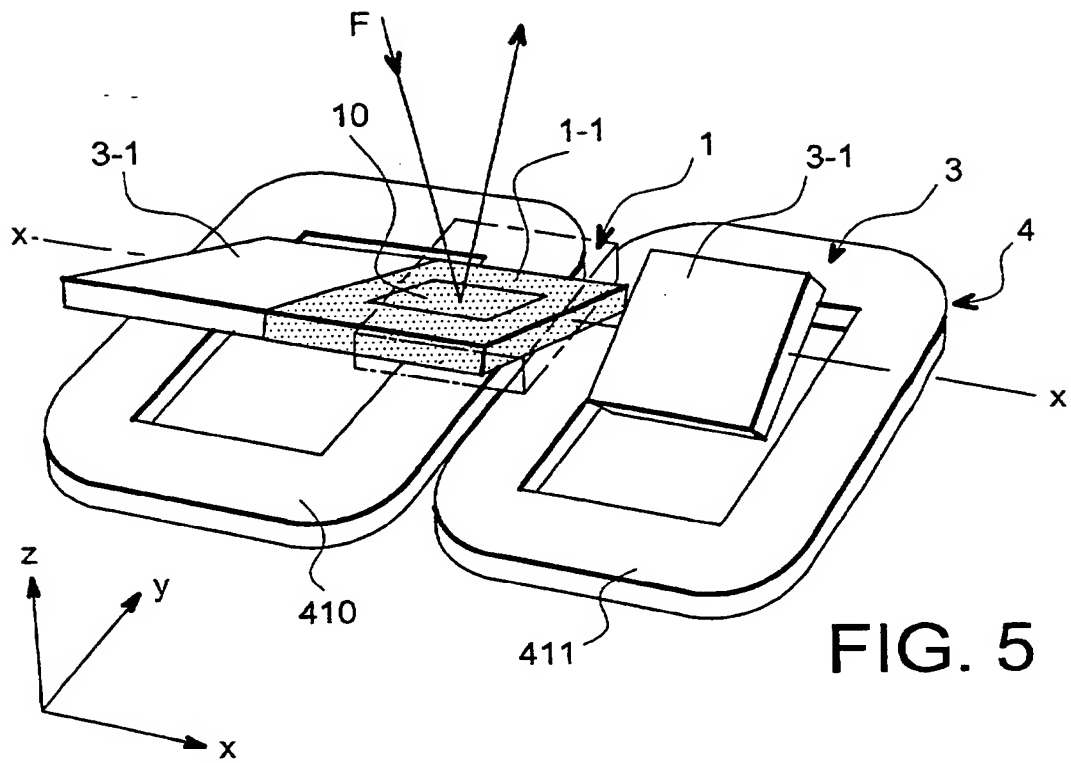


FIG. 5

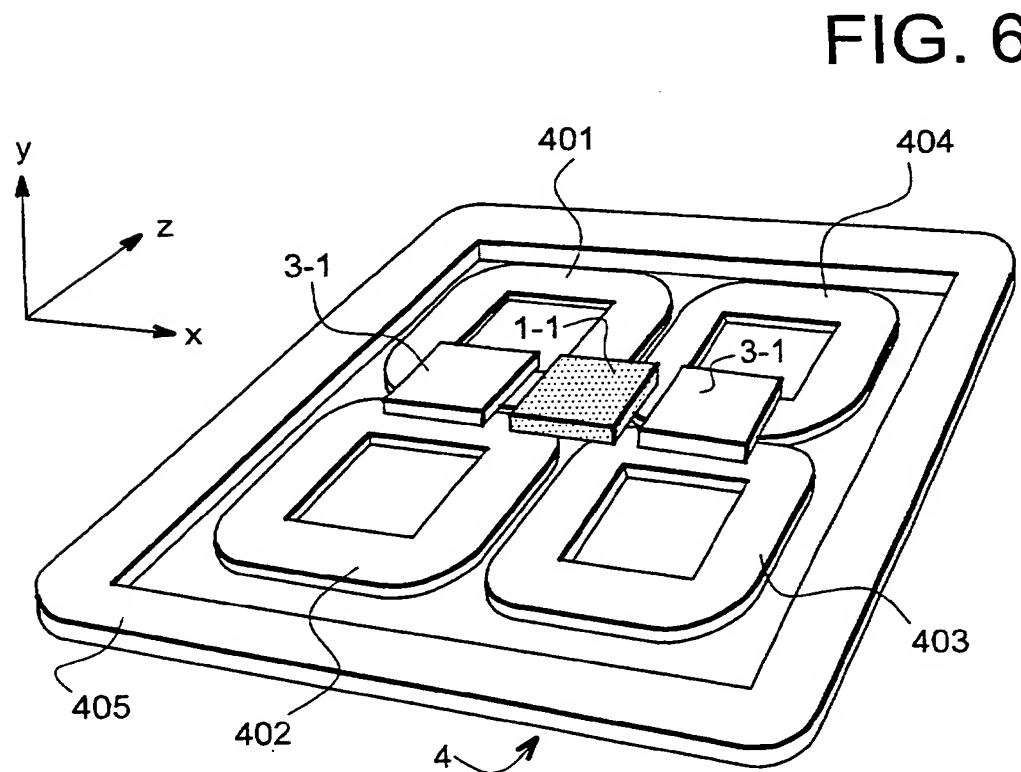


FIG. 6

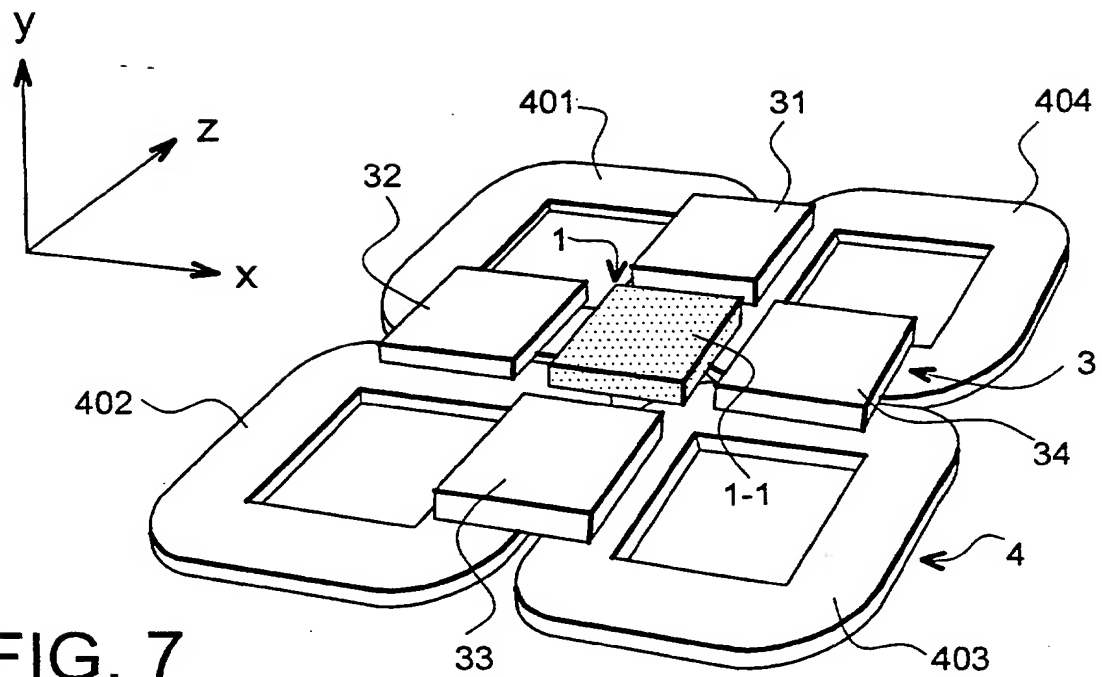


FIG. 7

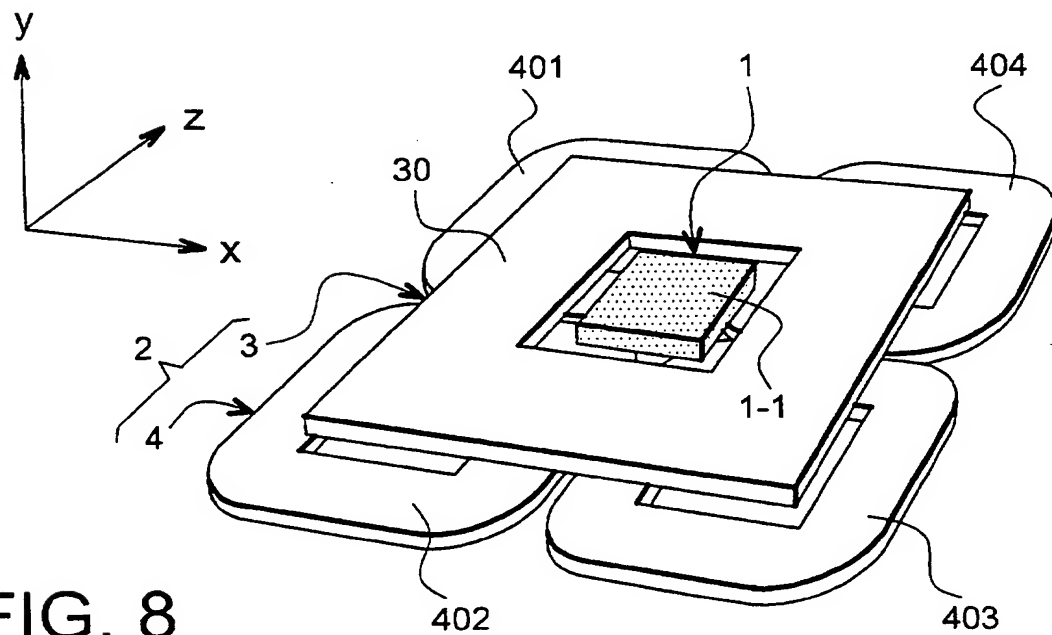


FIG. 8

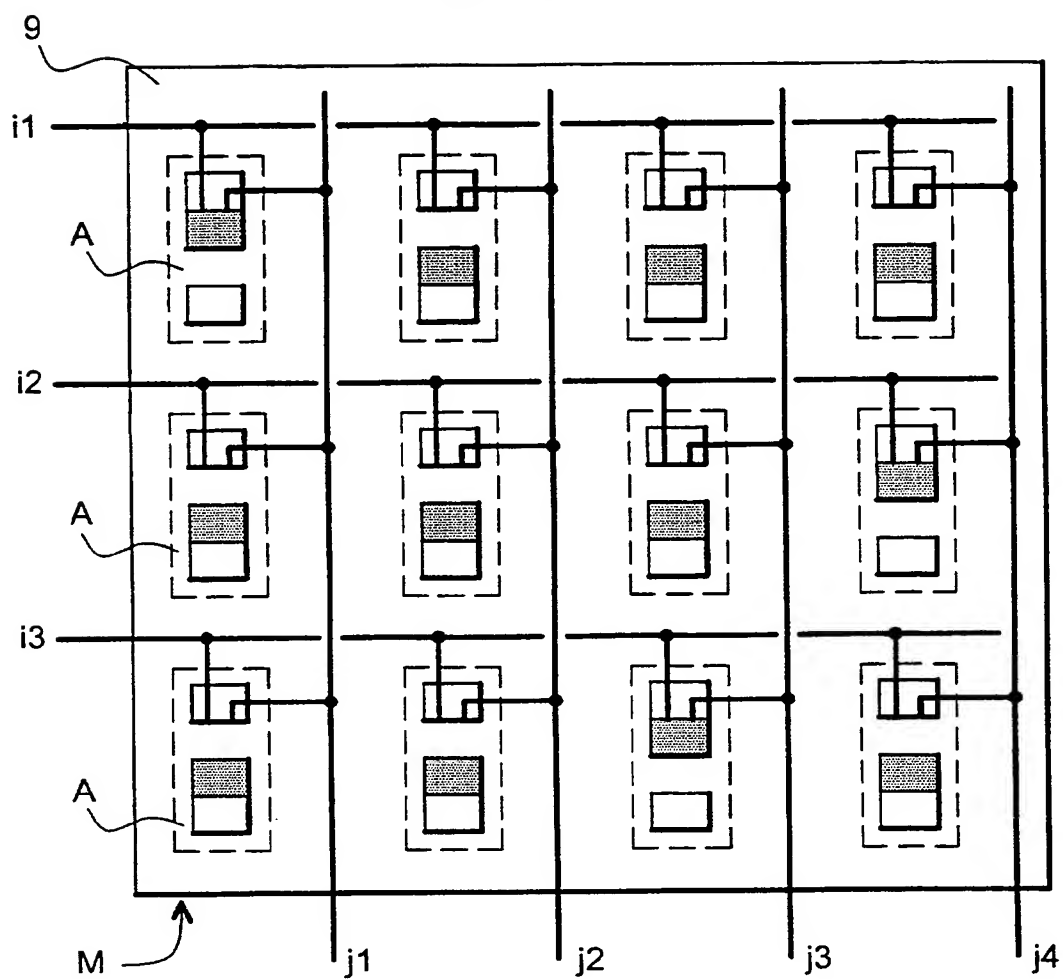
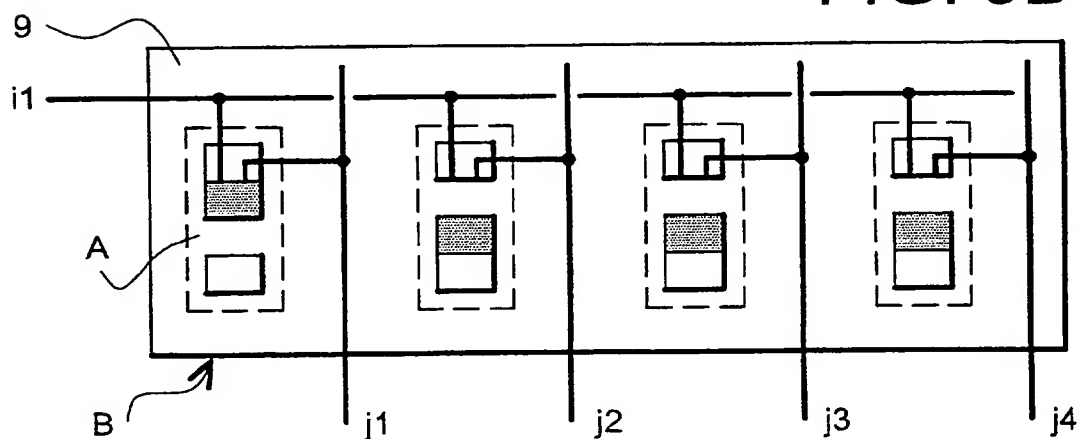
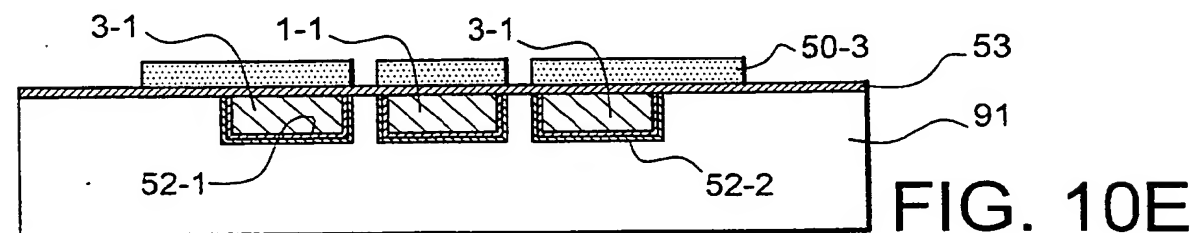
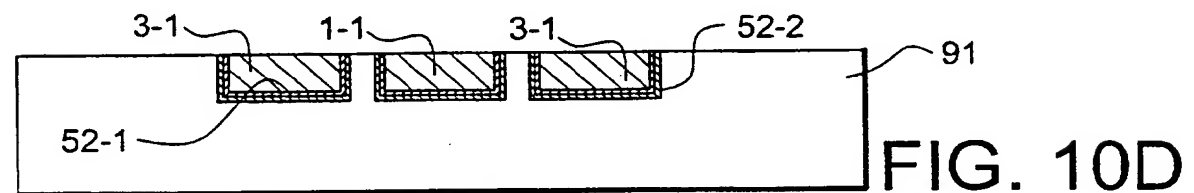
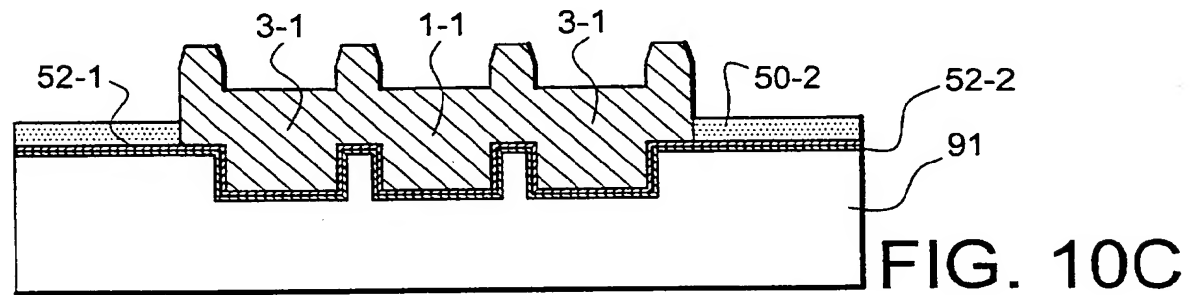
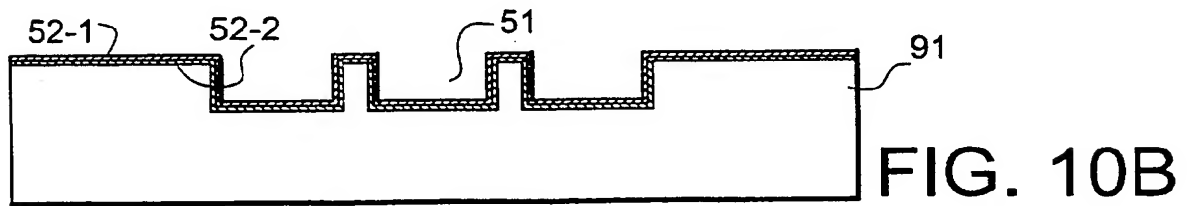
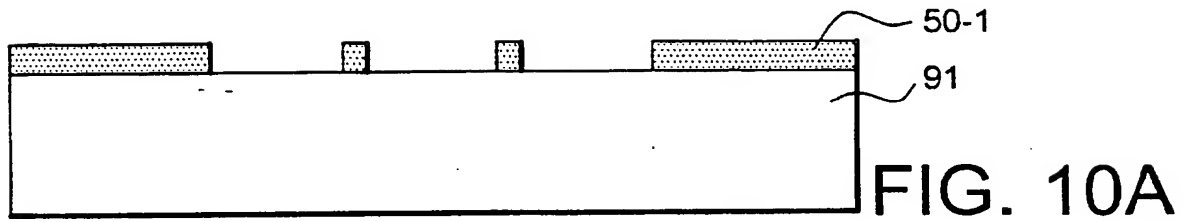


FIG. 9A

FIG. 9B





11 / 17

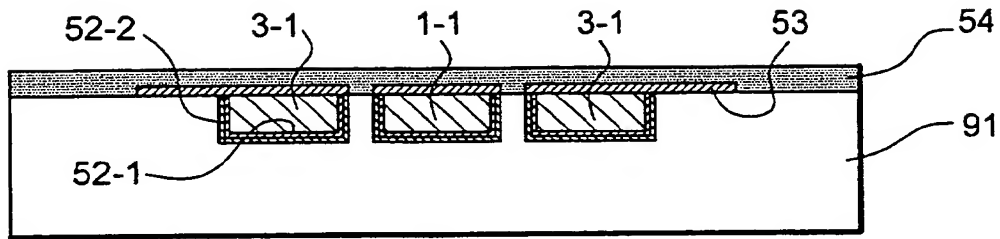


FIG. 10F

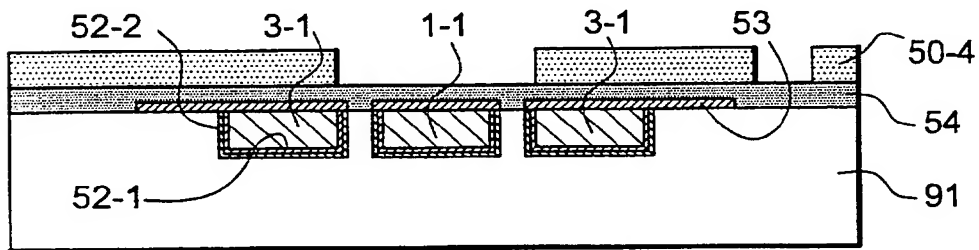


FIG. 10G

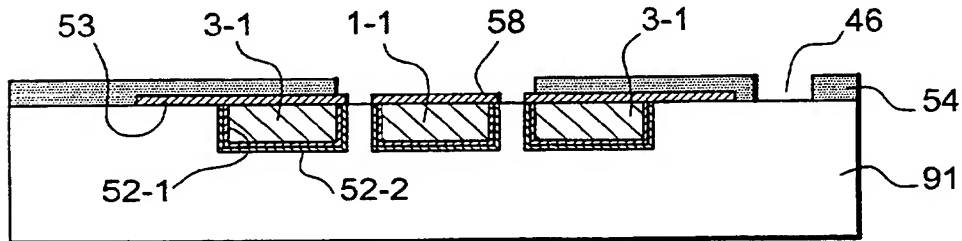


FIG. 10H

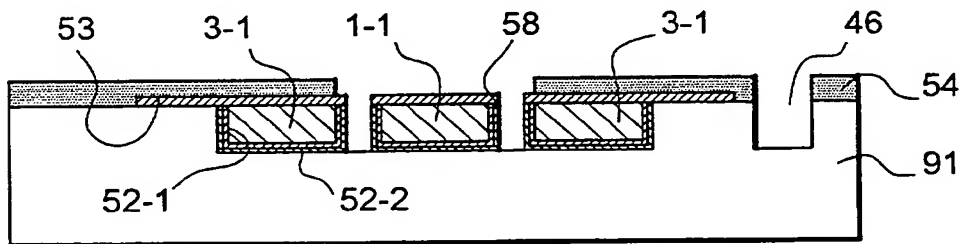
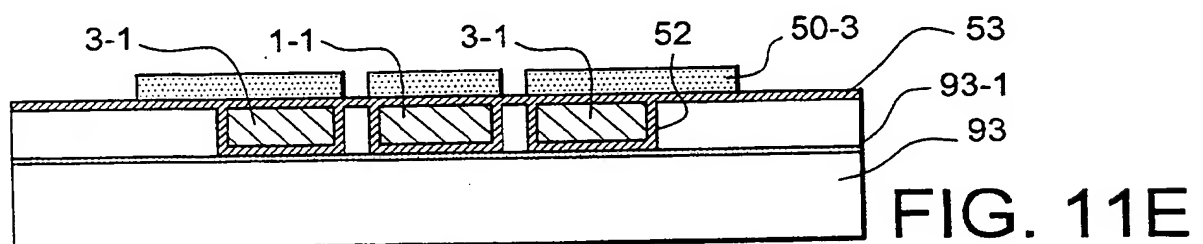
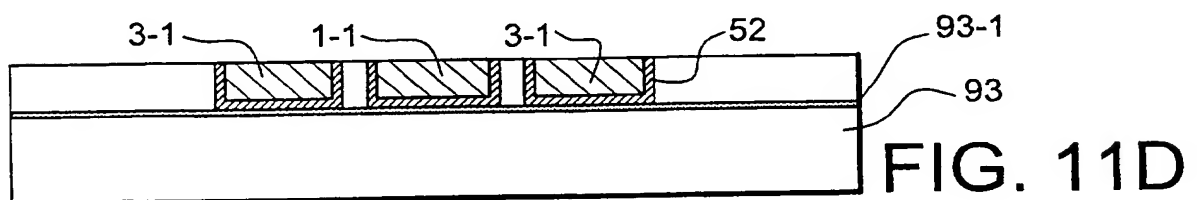
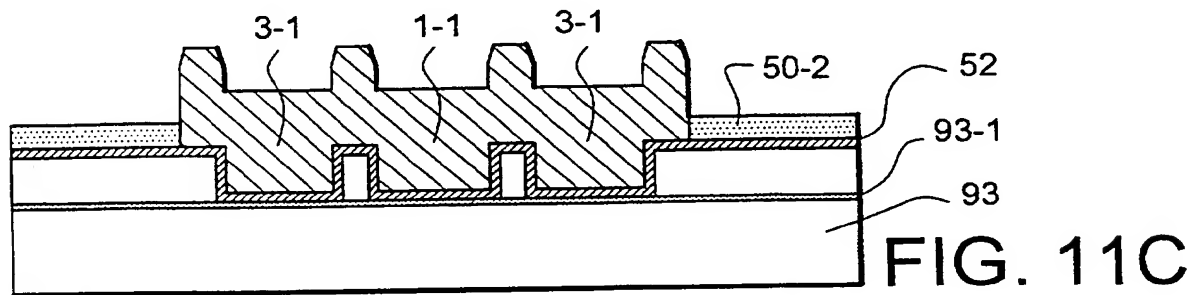
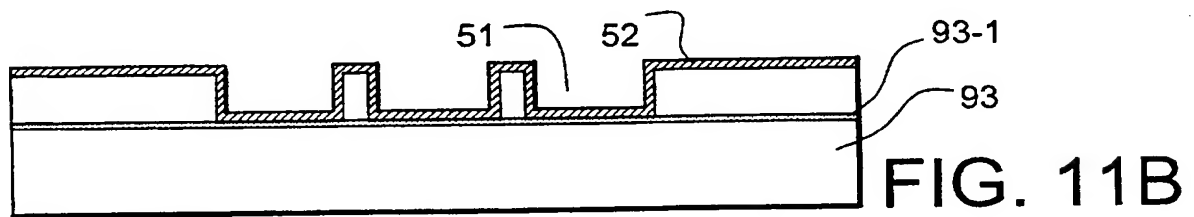
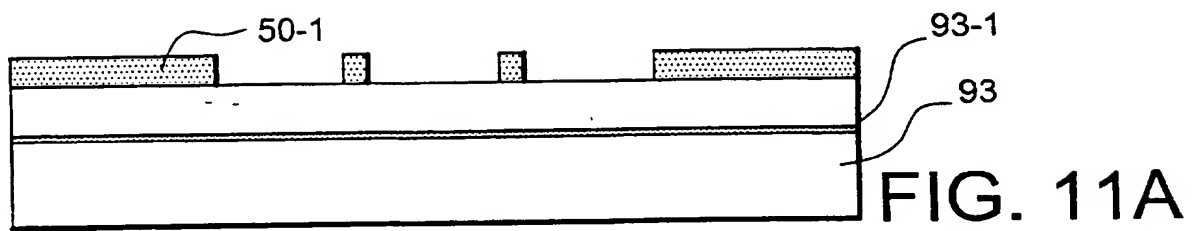


FIG. 10I



13 / 17

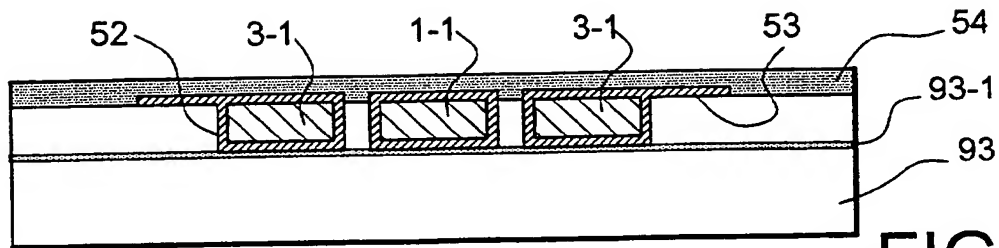


FIG. 11F

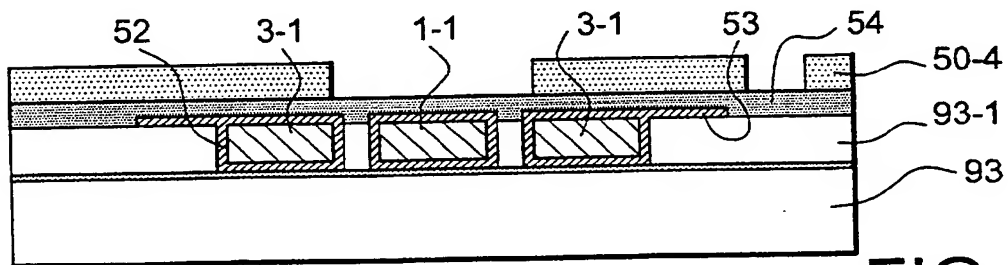


FIG. 11G

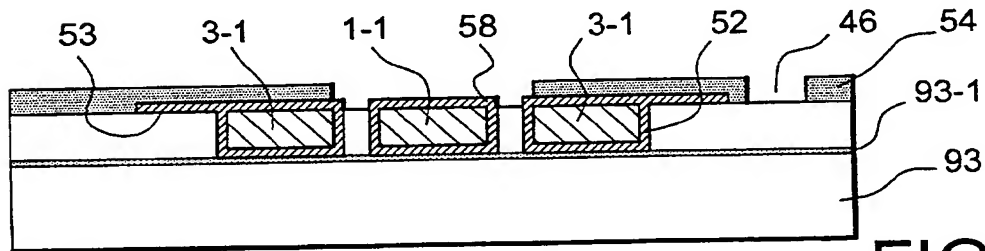


FIG. 11H

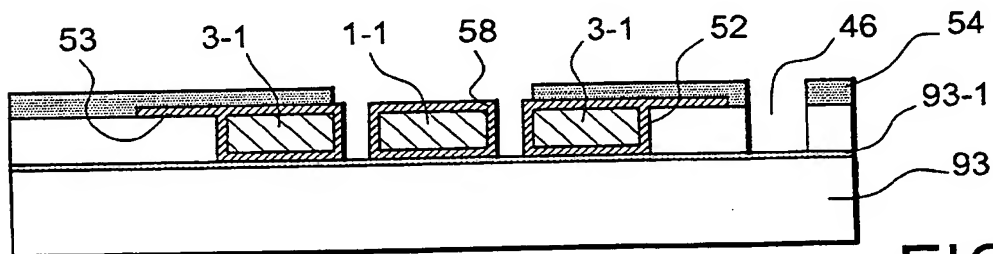


FIG. 11I

14 / 17

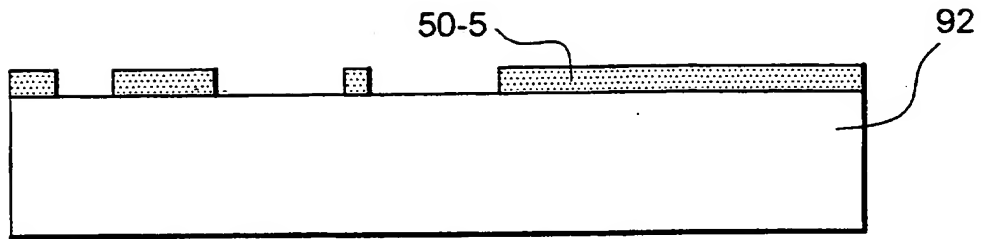


FIG. 12A

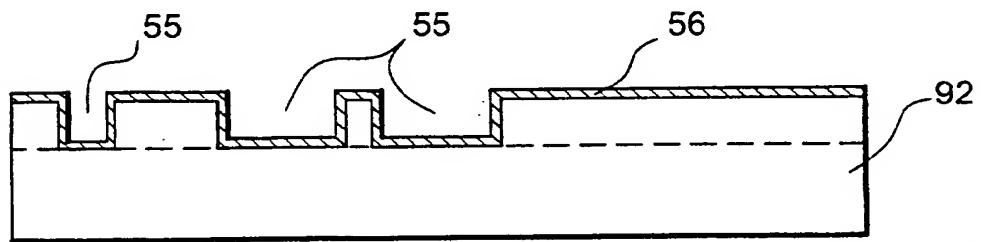


FIG. 12B

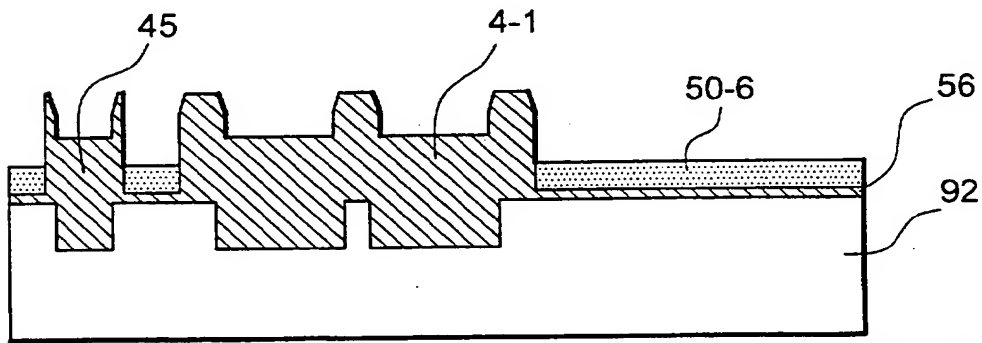


FIG. 12C

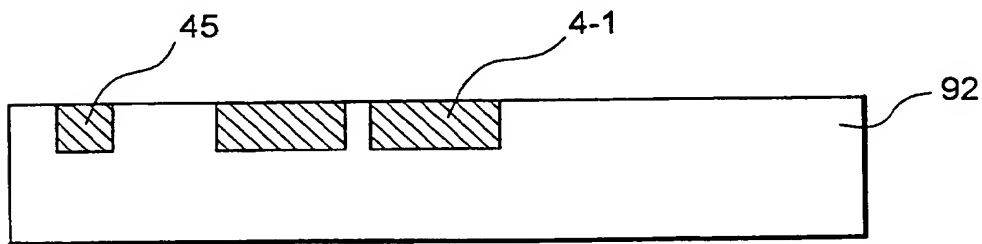


FIG. 12D

15 / 17

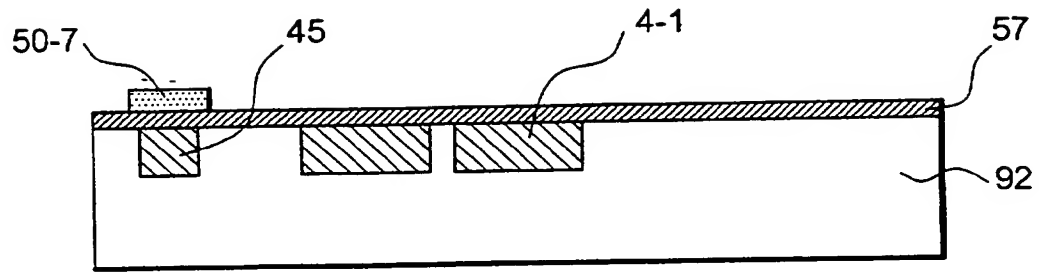


FIG. 12E

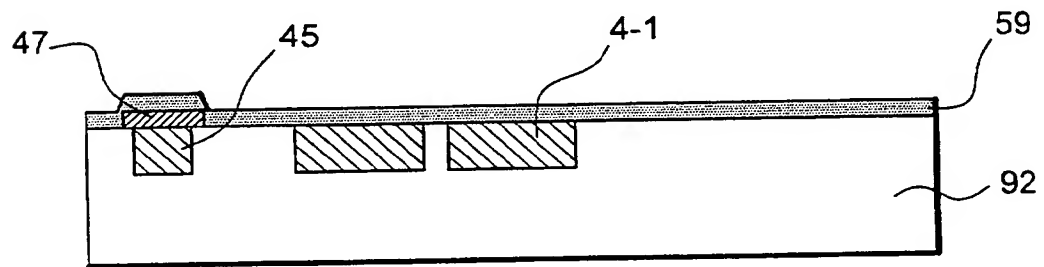


FIG. 12F

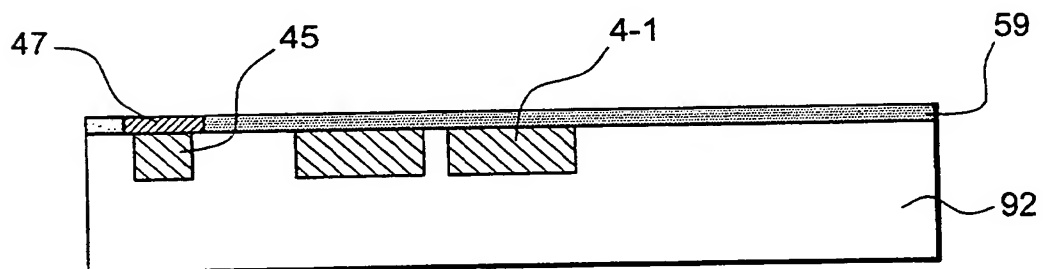
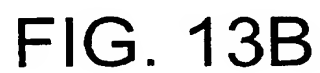
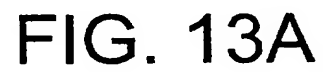


FIG. 12G



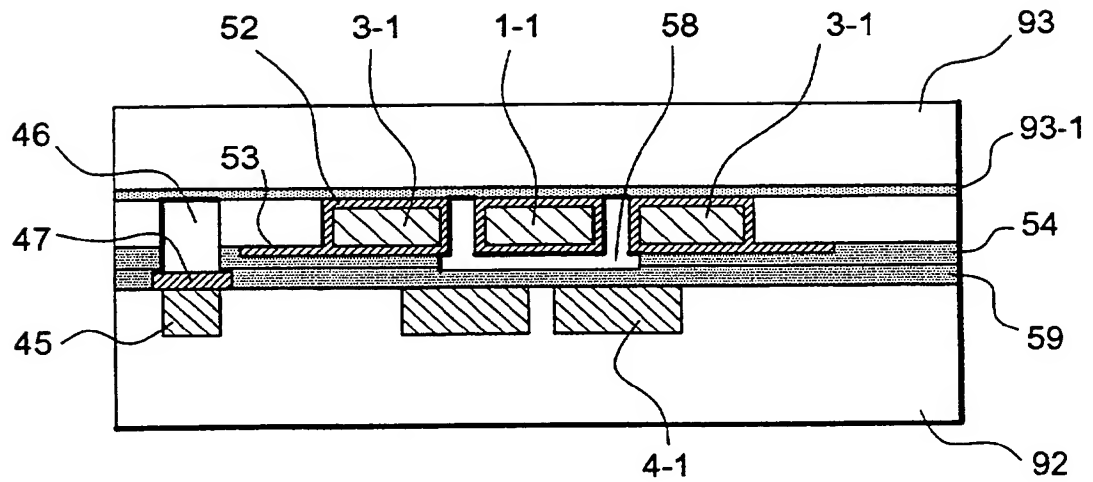


FIG. 14A

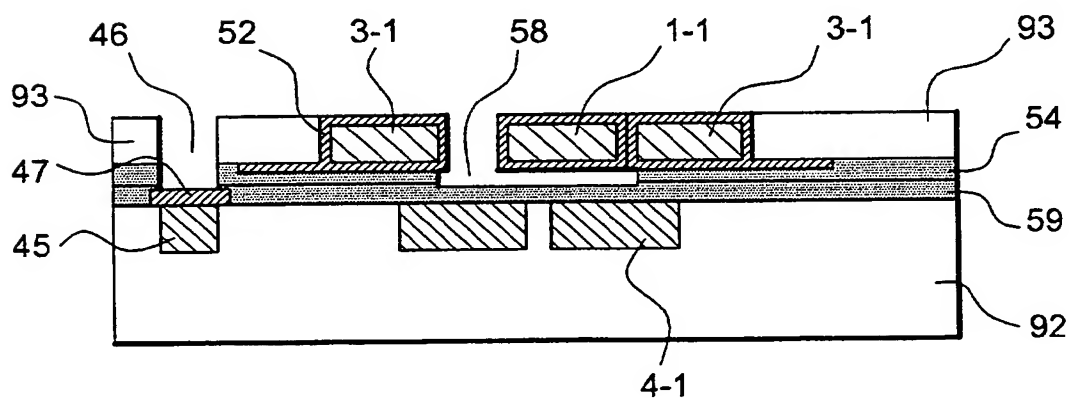


FIG. 14B



2828000

N° d'enregistrement
national

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 610962
FR 0110081

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	CH 655 983 A (INRAD SA) 30 mai 1986 (1986-05-30) * page 2, colonne de droite, ligne 9 - ligne 63 *	1	H01F7/06
A	WO 01 16484 A (TELEDYNE TECHNOLOGIES INC ;TAYLOR WILLIAM P (US)) 8 mars 2001 (2001-03-08) * revendications 1-47 *	1	
A	FR 2 612 276 A (PILATO MAURICE) 16 septembre 1988 (1988-09-16)		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 01, 30 janvier 1998 (1998-01-30) & JP 09 252570 A (TOSHIBA CORP), 22 septembre 1997 (1997-09-22) * abrégé *		
A	EP 0 179 911 A (MITSUBISHI MINING & CEMENT CO) 7 mai 1986 (1986-05-07)		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			H01F
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
4 avril 2002		Vanhulle, R	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

2828000

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0110081 FA 610962**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 04-04-2002
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CH 655983	A	30-05-1986	CH	655983 A5	30-05-1986
WO 0116484	A	08-03-2001	AU	2210901 A	26-03-2001
			WO	0116484 A2	08-03-2001
FR 2612276	A	16-09-1988	FR	2612276 A1	16-09-1988
JP 09252570	A	22-09-1997	AUCUN		
EP 0179911	A	07-05-1986	WO	8504044 A1	12-09-1985
			AU	569879 B2	25-02-1988
			AU	2650384 A	24-09-1985
			EP	0179911 A1	07-05-1986
			GB	2165096 A , B	03-04-1986
			US	4797645 A	10-01-1989

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82